المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص اتصالات

الاتصالات المتنقلة

٢٤٨ تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **الاتصالات المتنقلة** " لمتدربي تخصص "**الاتصالات**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الاتصالات المتنقلة

مقدمة في الاتصالات المتنقلة والنظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM

الوحدة الأولى : مقدمة في الاتصالات المتنقلة والنظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM

الجدارة: التعرف على الاتصالات المتنقلة والنظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM.

الأهداف: تهدف هذه الوحدة بإذن الله إلى:

١. وضع المتدرب في إطار تقنية الاتصالات المتنقلة.
٢. إعطاء المتدرب صورة شاملة عن أنظمة الاتصالات المتنقلة.
٣. إبراز دور النظام الشامل للإتصالات المتنقلة كمرحلة حالية للإتصالات المتنقلة.
٤. التمييز بين مختلف أنظمة الاتصالات المتنقلة.
٥. فهم كيفية عمل شبكات الاتصالات المتنقلة.
٦. التفريق بين مختلف أجيال أنظمة الاتصالات المتنقلة والحكم على ميزاتها.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب بإذن الله إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ١٢ ساعة.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج MS WORD or POWER POINT لعرض المحاضرات على جهاز عرض البيانات.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب ملماً بأساسيات الاتصالات التماثلية والرقمية.

مقدمة Introduction

منذ بدء استخدام الاتصالات الراديوية والمتخصصون في الاتصالات اللاسلكية يحلمون بتوفير خدمة هاتفية لكل مشترك على حدة، وذلك باستخدام جهاز هاتف شخصي له رقم يخص المشترك الذي يحمله، وهذه الأجهزة تتصل بمراكز تنظيم ثابتة يتم ربطها بمراكز الهواتف داخل القطر وبالتالي بشبكة الهواتف العالمية وهذا ما يطلق عليه الاتصالات الشخصية ويمثل الهاتف الخلوي الحلقة الأولى في طريق تحقيق هذا الحلم.

قبل سبعينات هذا القرن لم يكن الهاتف الخلوي ممكن التحقيق لسببين، أولهما عدم إتاحة جزء من المدى الطيفي الترددي بحيث يسمح بحيز ترددي لكل مشترك، والثاني أن الأجهزة الإلكترونية التي كان يجب أن يستخدمها المشترك لتحقيق نظام الهاتف اللاسلكي كانت ثقيلة الوزن وباهظة التكاليف.

مع بداية السبعينات والتطور المذهل في تقنية وهندسة دوائر أشباه الموصلات المتكاملة تمكنت الصناعة من إنتاج أجهزة لاسلكية صغيرة الحجم والوزن وذات أداء فائق بالإضافة إلى معقولية سعرها ، وتمكنت هذه الأجهزة من استخدام عدد من القنوات اللاسلكية التي تعمل بنظام تعدد الوصولية بتقسيم التردد(Frequency Division Multiple Access FDMA) ومعنى تعدد الوصولية هو أنه يتواجد عدد كبير من المشتركين إلا أن عدداً صغيراً منهم هو الذي يستطيع الكلام في اللحظة ذاتها، وبالتالي النظام لا ينشغل بهم إلا إذا طلب أحدهم المكالمة وعندئذ يعمل نظام FDMA في البحث عن قناة غير مستخدمة أو خالية ليعطيها له ويتم هذا البحث عن طريق معالج بيانات دقيقة (microprocessor) يستخدم بروتوكولاً رياضياً محدداً لتنظيم هذه العملية.

كان هذا هو الحال بالنسبة لنظام الهاتف اللاسلكي وفيه يتم استخدام محطات إرسال ذات قدرات عالية لتمكين كل قناة من القنوات من تغطية المدينة أو المقاطعة بأكملها، وعند استخدام قناة معينة من قبل أحد المشتركين تصبح هذه القناة غير متاحة للمشتركين الآخرين داخل المدينة أو المقاطعة نفسها. ولمعالجة هذه المشكلة فقد تم تعديل هذا النظام وذلك بإشراك عدد من المشتركين في قناة واحدة في نفس الوقت باستخدام عدد من محطات الإرسال بدلاً من محطة واحدة مع تصغير المساحة التي تغطيها كل محطة ويطلق على كل مساحة اسم خلية (cell) بحيث لا تتداخل هذه المساحات ، وبالتالي يمكن إعادة استخدام المدى الطيفي الترددي للخلية ذاتها على قنوات كثيرة يقع كل منها في خلية منفصلة عن الخلايا الأخرى وهو ما يسمى بنظام الهاتف الخلوي(cellular telephone system) .

هذه الوحدة تتناول بالدراسة أنظمة الهواتف المتنقلة وفيها سوف نستعرض نبذة تاريخية عن الاتصالات المتنقلة والمقاييس المستخدمة (standards) فيها ثم ندرس النظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM وفيه نستعرض نبذة تاريخية عن نظام GSM، ومواصفات GSM ومراحل تطوره، ومكونات شبكة GSM، والتركيبة الجغرافية لشبكة GSM، والمجالات الترددية المستخدمة في نظام GSM.

١- ١أنظمة الهواتف المتنقلة

١- ١- ١ تاريخ الاتصالات المتنقلة History of Mobile Communications

يتآلف أكثر الناس مع عدد من أنظمة الاتصالات الراديوية المتنقلة المستعملة في الحياة اليومية العادية والأمثلة على ذلك كثيرة ومتعددة منها أجهزة التحكم عن بعد(remote controllers) لأجهزة الترفيه المنزلية(remote controllers for home entertainment equipment)، والهواتف اللاسلكية(cordless telephones)، وأجهزة البيجر(pagers)، والهواتف الخلوية (cellular telephones)، وعلى أية حال الكلفة والتعقيد والأداء وأنواع الخدمات المعروضة بكلّ هذه الأنظمة المتنقلة مختلفة جداً.

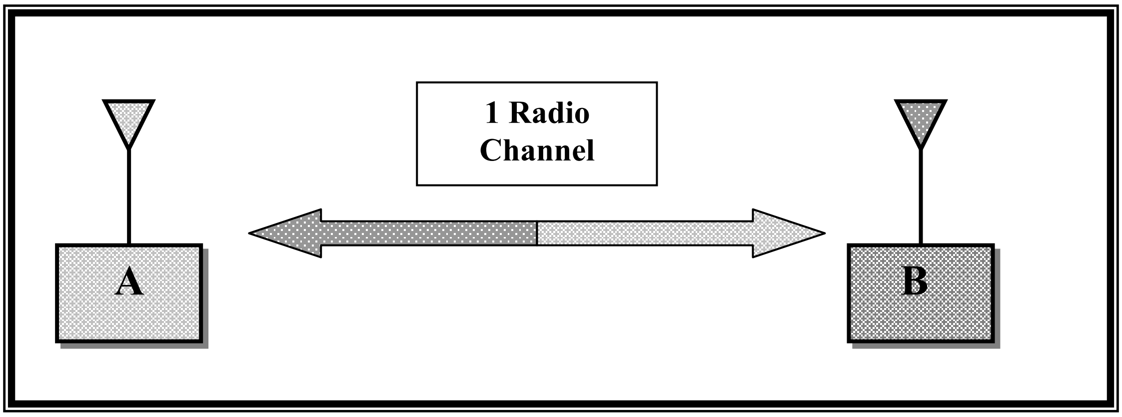
التعبير متنقل(mobile) من الناحية التاريخية يستعمل لتصنيف أيّ محطة طرفية إذاعية يمكن أن تحرّك أثناء التشغيل، و أكثر من ذلك فمؤخراً يستعمل هذا التعبير لوصف المحطة الطرفية الإذاعية التي ترتبط بمنصة متحركة عالية السرعة مثل الهاتف الخلوي في سيارة سريعة بينما المصطلح محمول(portable) يصف المحطة الطرفية الإذاعية التي يمكن أن تكون محمولة باليد ومستعملة من قبل شخص ما يمشي بسرعة.

أما التعبير مشترك(subscriber) يستعمل في أغلب الأحيان لوصف المشترك المتحرك او المحمول لأنه في أكثر أنظمة الاتصالالمتنقلة كل مشترك يدفع أجر اشتراك لاستعمال النظام وكلّ أداة اتصال للمشترك تسمى وحدة مشترك(subscriber unit)، وعموماً المجموعة الجماعية للمشتركين في النظام اللاسلكي تسمى المشتركين أو المتحركين بالرغم من أنّ العديد من المشتركين في الحقيقة يستعملون محطات طرفية محمولة حيث تتصل الهواتف المتنقلة بالقواعد الثابتة التي توصل إلى المصدر الكهربائي التجاري و الشبكة الأساسية الثابتة.

يمكن تصنيف نظم الإرسال الراديوية المتنقلة كما يلي:

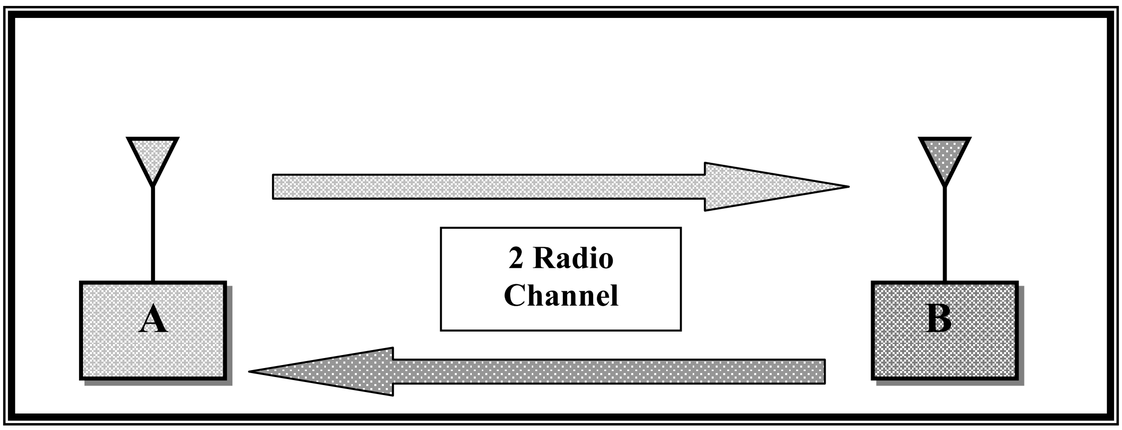
١. نظم إرسال بسيطة (Simplex) وفيها يتم الاتصالفي اتجاه واحد ونظم البيجر خير مثال على ذلك حيث تستقبل الرسائل ولكن لا يتم الرد عليها.

٢. نظم إرسال نصف مزدوجة (Half-duplex) وفيها يتم الاتصالفي اتجاهين وحيث أن هذه الأنظمة تستخدم قناة راديوية واحدة للإرسال والاستقبال فهذا يعنى أنه في أي وقت يستطيع المشترك إما أن يرسل أو يستقبل المعلومة مثل الدفع للكلام(push to talk) والتخلي للاستماع(release to listen) هي الميزّات الأساسية للأنظمة نصف المزدوجة ومثال ذلك طرفيات البوليس(Police terminals)، وشكل(١- ١) يوضح هذا النظام.



الشكل(١- ١) يوضح النظام نصف المزدوج

٣. نظم إرسال مزدوجة(Full-duplex) وفيها يتم الاتصالالمتزامن بين المشترك والقاعدة الثابتة حيث يتم الإرسال والاستقبال في نفس الوقت باستخدام قناتين منفصلتين ولكن بينهما تزامن من وإلى المشترك ومثال ذلك نظام الاتصالالمتحرك GSM والشكل (١- ٢) يبين هذا النظام.

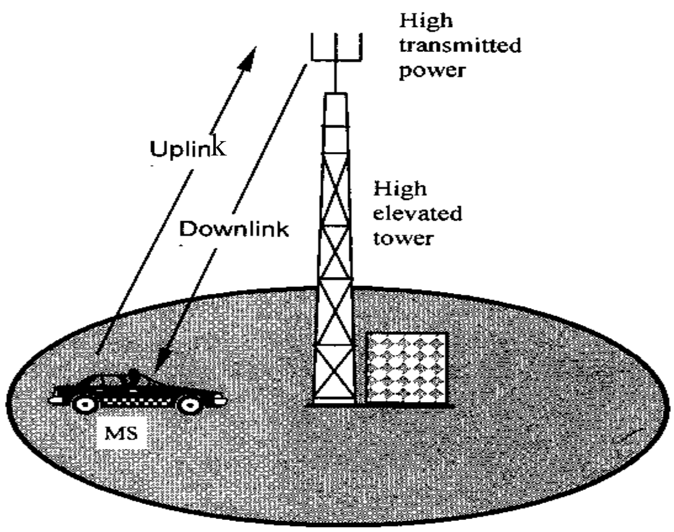


الشكل(١- ٢) يوضح النظام المزدوج

وحيث أن الاتصالات الراديوية المتنقلة تلعب دوراً مهماً جداً ضمن قطاعات التجارة والسلامة العامة والعمل أي في كلّ الأجزاء الصناعية من العالم، لذلك سنتتبع تأريخ هذه التقنية في الأجزاء التالية

١- ١- ١- ١المرحلة قبل السائدة The Pre-Prevailing Stage

ظهرت النظم المتنقلة لأول مرة بعد الحرب العالمية الثانية وتمتد هذه المرحلة من الخمسينات إلى الستينات ألف وتسعمائة، وكانت التطبيقات الرئيسة الأولى للاتصالات الراديوية المتنقلة مقتصرة على الجيش وشركات الطيران وشركات صيد السمك والشحن والشرطة والدفاع المدني(المطافئ) وسيارات الإسعاف وسيارات الأجرة ومختلف المشاريع التجارية وتتضمّن التطبيقات الأخرى مثل راديو ملاحة السفن والطائرات بالإضافة إلى الهاتف الراديوي المحمول لساحة المعركة، ففي هذه المرحلة المبكرة كانت أجهزة الإرسال والاستقبال ضخمة وغالية ويمكن التعبير عن هذه المرحلة من خلال النظام الموجود في شكل(١- ٣)



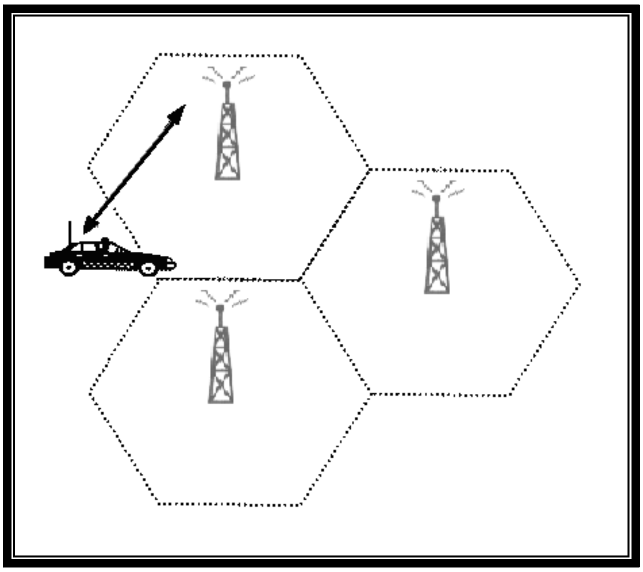
شكل(١- ٣) يوضح خلية أحادية للنظام الراديوي التقليدي

عيوب النظام الراديوي التقليدي

- خدمة هاتف السيارة الواحدة only car telephone service
- الأجهزة غالية وضخمة وثقيلة Heavy, bulky and expensive equipment
- لا توجد قابلية للمناولة أو التسليم No handover capability
- درجة الخدمة سيئة Poor grade of service
- جودة الكلام أو التخاطب منخفضة Low speech quality
- القدرة أو السعة منخفضة Low capacity.
- سوق عالي الإشباع High market saturation
- لا توجد إعادة استخدام للترددNo frequency reuse.
- مستوى القدرة ليس آمناً (very high) Power level is not safe.
- إرسال واستقبال جائع للقدرة Power hungry transceivers.

١- ١- ١- ٢ الجيل الأول للنظم المتنقلة The First Generation Mobile Systems

على مر السنين، تزايد المطلب العام للخدمات الراديوية المتنقلة بينما ظل طيف التردد المخصص لها محدوداً ونتيجة لهذا ظهرت تقنية جديدة لضبط هذا الوضع وهى النظم الراديوية الخلوية المتنقلة (مثال ذلك الشكل(١- ٤)) التي يمكن أن تستوعب العديد مِنْ المشتركين عندما يتم تركيب اتصالراديوي خليوي مفروض على منطقة جغرافية حيث اعتمدت هذه النظم على التقنية التماثلية.



الشكل(١- ٤) يبين النظام الخلوي

بدأت النظم الراديوية الخلوية المتنقلة تنتج نهاية السبعينات والثمانينات ألف وتسعمائة (-1970's 1980's) وازداد الطلب عليها بصورة كبيرة وسريعة وانخفض سعرها بسرعة أيضاً.

The System النظام

تبنى النظام الخلوي(Cellular system) التقنيات التالية:

- إعادة استخدام الترددFrequency reuse
- ضبط التحكم في القدرة Adaptive power control
- مقطع الخلية (Cell sectorization)
- تقسيم أو انشطار الخلية Cell splitting
- التسليم أو المناولة Handover

Standard المقياس

يمكن تلخيص ما تم في هذا الجيل من النظم المتنقلة في النقاط التالية:

- الاعتماد على التقنية التماثلية Depending on analog technology.
- نطاقات مختلفة من تردد التشغيل Different operating frequency ranges.
- نظم غير متوافقة Incompatible systems.
- معاناة من تشبع السعة أو القدرة Suffer from capacity saturation.
- محدد بالخدمة الصوتيةLimited to voice service.
- جودة الإرسال غير كافية Insufficient transmission quality.
- لا تشفير No encryption.
- استخدام التعديل الترددي Frequency modulation (FM).
- تعدد الوصول بتقسيم التردد قي تقنية الإرسال FDMA transmission technology.

The Radio mobile systems النظم الراديوية المتنقلة

الجدول (١- ١) يبين أهم النظم الراديوية المتنقلة من الجيل الأول في هذه الفترة

اسم النظام System	الدولة Country	مدى التردد(ميجا هيرتز) Frequency range (MHz)	سنة التشغيل Operational year
Nippon Telephone and Telegraphy (NTT-MTS)	اليابان Japan	800	1979
Advanced Mobile Phone Service (AMPS)	الولايات المتحدة US	800	1979
Nordic Mobile Telephone (NMT)	اسكندنافيا Scandinavia	450 900	1981-85
Total Access Communi. System (TACS)	المملكة المتحدة UK	900	1985
C450	ألمانيا Germany	450	1985
Radiocom 2000 (NMT)	فرنسا France	450 900	1985 1989
RTMS TACS	إيطاليا Italy	450 900	1985 1990

جدول(١- ١) يبين النظم الراديوية المتنقلة من الجيل الأول

١- ١- ١- ٣ الجيل الثاني للنظم المتنقلة The Second Generation Mobile Systems

مع تطور التقنية الرقمية والطلب المتزايد على خدمة الهاتف الجوال تم إنتاج تقنيات رقمية لإرسال البيانات بسرعات عالية مع جودة عالية للخدمة وتحكم مرن جداً في النظام.

تم بناء الجيل الثاني للنظم المتنقلة مع التقنية الرقمية في أواخر الثمانينات وأوائل التسعينات ألف وتسعمائة ، ويمتاز هذا الجيل بسعة أو قدرة للنظام تعادل عدة مرات أعلى من النظام التماثلي كما إنه يقدم ميزات خدمية أكثر بنوعية خدمةٍ عالية الجودة وتكلفة خدمة منخفضة كما تم إنتاج الأنظمة اللاسلكية لأنماط قابلية الحركة المختلفة.

المقياس The standard

١. المعيار الخلوي الرقمي الأوربي The Pan-European digital cellular standard (GSM):GSM

بدأ هذا النظام العمل في كل أوروبا سنة ١٩٩١م بعرض نطاق ترددي جديد وهو ٩٠٠ ميجاهرتز لخدمة الهاتف الخلوي، فمعيار GSM (Group Special Mobile)يكسب القبول العالمي على أنه النظام الرقمي الخلوي العالمي الأول بميزات الشبكة الحديثة التي تمتد إلى كل مستخدم للهاتف الجوال.

٢. المعيار الخلوي الأمريكي Electronic Association interim standard (IS-54) IS-54

في آخر سنة ١٩٩١ م تم تركيب أجهزة نظام رقمي خليويIS-54 في معظم المدن الأمريكية حيث يسمح المعيار الخلوي الرقمي الأمريكي لمشغلي الخلوي باستبدال بعض القنوات التماثلية ذات المستعمل الوحيد بالقنواتِ الرقميةِ التي تدعم ثلاثة مستعملين في نفس عرض النطاق الترددي ٣٠كيلو هيرتز، وتم إعادة تسمية النظام بالرقمي AMPS أو DAMPS مع استخدام تقنية تعدد الوصول بتقسيم الزمن TDMA مكان التقنية التماثلية تعدد الوصول بتقسيم الترددFDMA.

٣. المعيار الخلوي الأمريكي Interim Standard IS-95

تم تطوير نظام رقمي خليوي يعتمد على تقنية تعدد الوصول بالتقسيم الشفري CDMAمن قبل شركة كوالكوم والذي اعتمد من Telecommunications Industry Association TIA كمعيار مرحلي أو مؤقت وسمي IS-95.

٤. هناك أيضاً النظام الياباني الرقمي الخلوي JDC و كذلك نظام الهاتفِ اليدوي الشخصيِ personal handy phone system(PHS).

٥. الخدمة اللاسلكية في أوروبا DECT و CT-2.

الأهداف Objectives

يمكن تلخيص أهداف الجيل الثاني من النظم المتنقلة كما يلي:

- المقياس الموحد Common standard.
- التجوال الدولي International roaming
- السعة الضخمة Huge capacity
- تقنيات التشفير الرقمية Digital encryption techniques
- تخفيض الضوضاء والتداخل.
- أجهزة بتكلفة منخفضة Low cost equipment

- الاستهلاك الكهربائي المنخفض Low power consumption
- محطات طرفية ذات وزن خفيف ومتينة وبحجم الجيب Lightweight, compact, pocket size terminals
- إرسال رقمي متعدد الوصول بتقسيم الزمن TDMA digital transmission
- توافق الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات Integrated services digital network compatibility

١- ١- ١- ٣ تطورات الاتصالات المتنقلة بعد الجيل الثاني

بعد تطبيق الجيل الثاني من الاتصالات المتنقلة فإن استعماله في العالم لقي انتشارا لا مثيل له من قبل ولم يعد مقتصراً على فئة خاصة من المستعملين كما كان الحال بالنسبة للجيل الأول. وبما أن الجيل الثاني وضع أساساً لنقل المكالمات إلا أن الحاجة لنقل البيانات بشكل متنقل أصبح أمراً مطلوباً لذلك وضعت المعايير والمقاييس لأنظمة اتصالات متنقلة جديدة تمكن من نقل البيانات مع الصوت وظهرت الأجيال التالية:

- **الجيل الثاني ونصف** GPRS

بعد الجيل الثاني أدخلت تطورات لتمكين المشترك من تمرير البيانات عبر شبكة الخلوي وسميت هذه التقنية خدمة الحزم اللاسلكية الشاملة General Packet Radio Services (GPRS) . وتعتمد هذه التقنية أساساً على التبديل بواسطة الحزم عوض التبديل بالدوائر. أي أن البيانات تقطع إلى حزم تحمل عنوان المرسل والمرسل إليه حتى يتم توجيهها في الشبكة على طريقة برتكول الإنترنات (IP) مما يمكن من استغلال موارد الشبكة بشكل أفضل حيث لاتخصص دارة أومسار لكل اتصالولكن حزم كل اتصالتشترك في المسارات والقنوات وكذلك يمكن نقل حزم بيانات مشترك ما على عدة قنوات في نفس الوقت مما يزيد في سرعة نقل البيانات.

مع العلم أن هذا التطور يتعلق بنقل البيانات فقط أما نقل الصوت فيبقى على حاله حسب تقنية الجيل الثاني.

ومع ازدياد الحاجة إلى نقل البيانات بسرعة أكبر فإنه أدخل تحسيناً للجيل الثاني ونصف وذلك بتحسين طريقة التعديل لتتضاعف سرعة نقل البيانات إلى حوالي ثلاثة أضعاف (380kb/s) وسميت هذه تقنية:

سرعة البيانات المحسنة لطور شامل Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE) .

- **الجيل الثالث للنظم المتنقلة The Third Generation Mobile Systems**

يلعب الجيل الثالث لنظم الاتصالات المتنقلة دوراً هاماً في تزويد المستخدمين بالخدمات التي تقدمها شبكات الاتصالات اللاسلكية الآن مثل الشبكة العامة لتحويلات الهاتف PSTN وشبكة الخدمات الرقمية المتكاملةISDN. وتشمل هذه الخدمات نقل الصوت والبيانات الرقمية والصور الثابتة والمتحركة والبريد الإلكتروني بسرعة نقل البيانات أعلى مما هو في الجيل الثاني ونصف.

والتوجه الآن هو التحرك نحو دمج كل تطبيقات اللاسلكي المتنقل مثل النظم الرقمية الخلوية والهواتف الممتدة لاسلكياً ونظم النداء ونظم الأقمار الصناعية للمتنقلات في نظام عالمي موحد. شكل (١- ٥) يبين تطور شبكة الاتصالات اللاسلكية الموحدة.

قامت الهيئات العالمية بوضع المواصفات القياسية الخاصة بتعريف الجيل الثالث حيث بدأ تطوير الجيل الثالث عندما قام الاتحاد الدولي للاتصالات بعيدة المدى فرع الاتصالات الراديوية المجموعة المهمة ١/٨ بوضع تعريف لمتطلبات الجيل الثالث للنظم الراديوية المتنقلة.

النظام The System

في البداية أطلق على هذا الجيل مسمى Future Public Land Mobile Telecomm- FPLMTS) unication System) حيث أدى هذا إلى تحديد نطاقات الطيف الترددي الأساسي حول العالم وهي النطاق الأول من ١٨٨٥ إلى ٢٠٢٥ ميجاهرتز والنطاق الثاني من ٢١١٠ إلى ٢٢٠٠ ميجاهرتز.وبالتوازي مع هذا يعمل المعهد الأوروبي للمواصفات القياسية للاتصالات ETSI على تعريف النظام العالمي لاتصالات المتنقلات Universal Mobile Telecommunication system) UMTS) ويتوقع أن يكون النظامان متوائمين أو متطابقين وأخيراً تم تسمية هذا الجيل IMT200 International Mobile) Telecommunication system in year 2000) بواسطة الاتحاد العالمي للاتصالاتITU.

الأهداف Objectives

يمكن تلخيص أهداف الجيل الثالث للاتصالات المتنقلة في النقاط التالية:

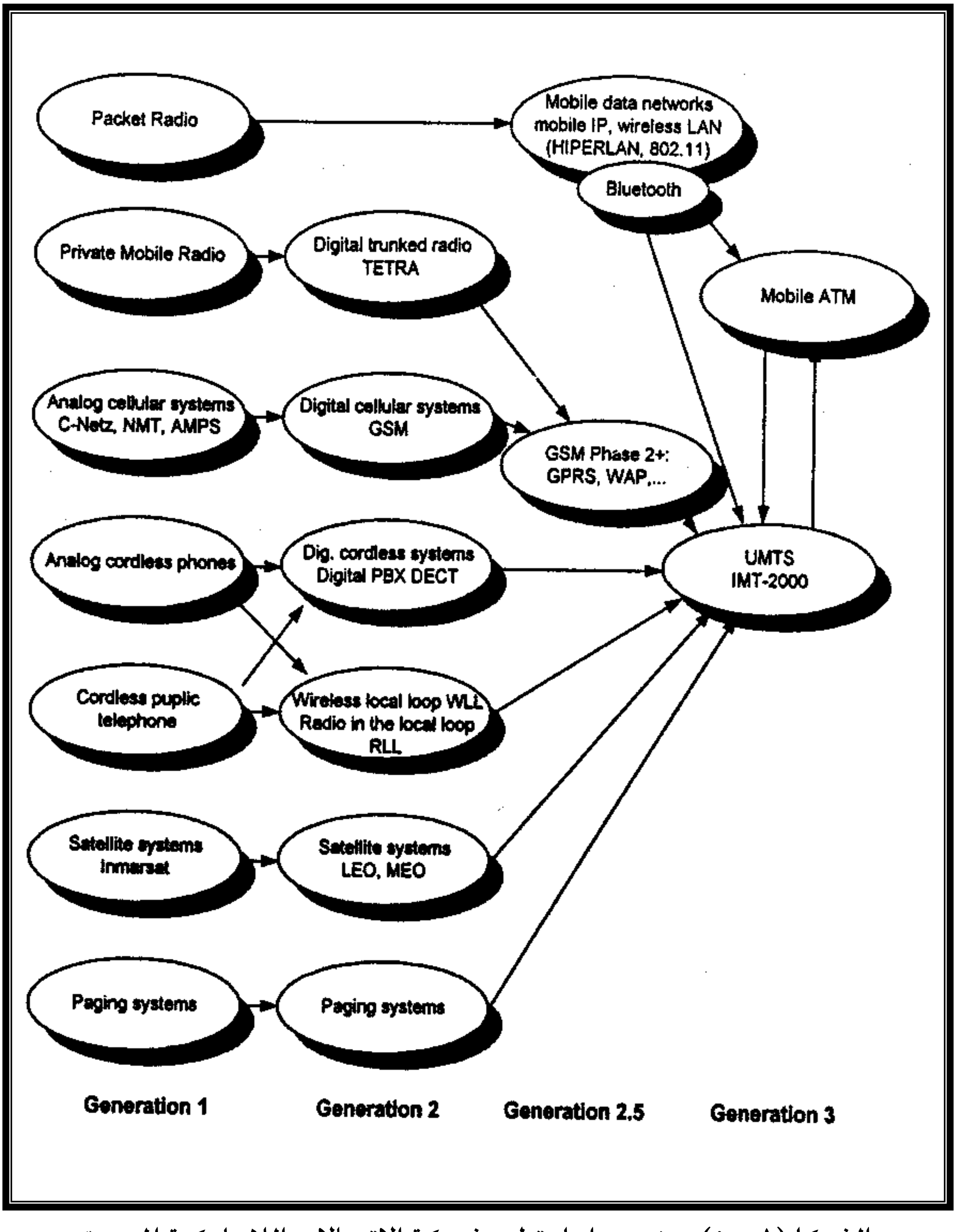
- المقياس أو المعيار الموحد Global standard.
- التجوال الموحدGlobal roaming .
- خدمات الوسائط المتعددة Multimedia services.
- المجموعة اليدوية العالمية الموحدة Unique universal handset .

- البيئة المتعدّدة Multiple environment(indoor, outdoor, and vehicular scenarios).
- نمط تحويل حزم البيانات ودائرة الخدمات Circuit and packet switching mode of services.

المقياس The standard

يمكن تلخيص المقياس المستخدم مع هذا الجيل من الاتصالات المتنقلة في النقاط التالية:

- نمط التسلسل المباشر الذي يستند على تعدد الوصول العريض النطاق بالتقسيم الشفري
Direct sequence mode based on wide-band code division multiple access(WCDMA)
- نمط متعدد النقل أو الحمل يستند على تعدد الوصول بالتقسيم الشفري ٢٠٠٠
Multi-carrier mode based on CDMA2000
- نمط تقسيم الزمن المزدوج يعتمد على تقسيم الزمن وتعدد الوصول بالتقسيم الشفري
Time division duplex (TDD) mode based on TD-CDMA
- المجموعة اليدوية العالمية الموحدة Unique universal handset.
- البيئة المتعدّدة Multiple environment.



الشكل(١- ٥) يوضح مراحل تطور شبكة الاتصالات اللاسلكية الموحدة

١- ٢ النظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM

١- ٢- ١ نبذة تاريخية عن نظام GSM

الجدول التالي يعطي نبذة تاريخية و يبين المعالم الرئيسة لمراحل تطور نظام GSM:

السنة Year	الحدث Event
١٩٨٢	• أوصت هيئة الاتصالات والبريد الأوروبية ب 2×25MHz في ٩٠٠ميجاهرتز • Committee of European Post & Telecoms (CEPT) recommended 2×25MHz in 900 MHz. .
١٩٨٢	• نظام المجموعة الخاصة بالهاتف المتنقل(GSM) تأسس من قبل CEPT • Group special mobile (GSM) was established by the CEPT.
١٩٨٧	• تم تحديد العناصر الضرورية للإرسال اللاسلكي • Essential elements of wireless transmission are specified.
١٩٨٩	• أخذ معهد معايير الاتصالالأوروبي على عاتقه مسؤولية مواصفات نظام جي إس إم • European Telecommunication Standards Institute took over the responsibility for GSM specifications.
١٩٩٠	• المرحلة ١ تم تثبيت مواصفات جي إس إم ٩٠٠ • The phase 1 GSM900 specifications are frozen. • بدأ التكيف إلى دي سي إس ١٨٠٠ • Adaptation to DCS 1800 commences.
١٩٩١	تدشين أول شبكات جي إس إم First GSM networks launched
١٩٩٢	• تم تغير اسم جي إس إم إلى النظام الموحد للاتصالات المتحركة لأسباب تسويقية • GSM has changed its name to the Global System for Mobile communications for marketing reasons. • معظم شبكات جي إس إم الأوروبية أصبحت تجارية

	• Most European GSM networks turn commercial • أكثر من ١٣ شبكة في ٧ دول أصبحت مستعدة نهاية العام • Some 13 networks in 7 countries are "on air" by the end of the year
١٩٩٣	• إنجاز اتفاقيات التَجْوال الأولى • First roaming agreements in effect • بنهايةِ ١٩٩٣ ، شبكات في ١٨ دولة أصبحت جاهزة للتشغيل • By the end 1993, networks in 18 countries are operational
١٩٩٤	• انطلقت نقل البيانات بكفاءة • **Data transmission capabilities launched** • ارتفع عدد الشبكات إلى ٦٩ في ٤٣ دولة مختلفة مع نهاية ١٩٩٤م • **The number of networks rises to 69 in 43 different countries by the end of 1994**
١٩٩٥	• تدشين أول شبكة بي سي إس ١٩٠٠ في الولايات المتحدة الأمريكية • The first PCS 1900 is launched in The USA. • بداية التجوال لكل من SMS والبيانات والفاكسميل • Facsimile, data and SMS roaming starts • تم نقل إشارات الصورة عن طريق GSM لأغراض العرض • Video signals are transmitted via GSM for demonstration purposes • ٥٠٠٠٠ محطة قاعدية جي إس إم قيد الاستعمال في جميع أنحاء العالم • 50 000 GSM base stations are in use all over the world
١٩٩٦	• ١٣٣ شبكة في ٨١ دولة أصبحت جاهزة للتشغيل • 133 networks in 81 countries operational
١٩٩٧	• ٢٠٠ شبكة GSM من ١٠٩ دولة جاهزة للتشغيل مع ٤٤ مليون مشترك حول العالم • 200 GSM networks from 109 countries operational with 44 million subscribers worldwide.
١٩٩٨	• ٣٢٠ شبكة GSM في ١١٨ دولة مع ١٣٥ مليون مشترك حول العالم • 320 GSM networks in 118 countries with 135 million subscribers

	worldwide.
١٩٩٩	• تطبيق بروتوكول لاسلكي • Wireless application protocol. • ١٣٠دولة، ٢٦٠ مليون مشترك • 130 countries, 260 million subscribers.
٢٠٠٠	• عدد المشتركين ٣٦٢ مليون مشترك • 362 million users. • خدمات الحزمة الراديوية العامة • General packet radio services(GPRS).

١- ٢- ٢ مواصفات GSM

الجدول التالي يبين مواصفات النظام الرقمي للهاتف الخلوي GSM

رقم المواصفة	المواصفة	تفصيل المواصفة
١	نطاق الإرسال من محطة الإرسال الثابتة	٩٣٥- ٩٦٠ ميجاهرتز(Downlink)
٢	نطاق الإرسال من محطة الإرسال المتنقلة	٨٩٠- ٩١٥ ميجاهرتز(uplink)
٣	أقصى قدرة إرسال للمحطة المتنقلة MS	٣- ٢٠ وات
٤	عدد القنوات من النوع المزدوج(Duplex)	١٢٤ قناة
٥	عرض النطاق الترددي للقناة الواحدة	٢٠٠ كيلوهرتز
٦	طريقة النقل	تعدد الوصول بتقسيم الزمن(TDMA)
٧	عدد المشتركين في الإطار الواحد	ثمانية لكل إطار(8/Frame)
٨	تشفير الكلمات	١٣كيلوبيت لكل ثانية(13Kbits/sec) للمشترك
٩	طرق حماية الخطأ error protection methods	١- الترك البيني Interleaving ٢- تشفير القناة Channel coding ٣- قفز التردد Frequency Hopping ٤- المساواة التكيفية Adaptive equalization
١٠	طريقة التعديل أو التضمين	زحزحة التبديل الدنيا الجاوسية(GMSK)

١- ٢- ٣ الحاجة إلى GSM

نظام GSM يسمح للمستعملين بالتجول بين البلدان حيث يطلبون ويستلمون النداءات على هاتفهم الخاصة وبأرقامهم الخاصة. نظام GSM يجعل إمكانية خلق قابلية التجول المطلوب مَع شبكة خلوية رقمية وحيدة، من خلال التعاونِ بين المشغلين الوطنيينِ حيث إن هناك عوامل ساعدت في تطور هذه النظم منها:

- الحاجة إلى مقياس موحد
- الحاجة إلى التجوال الدولي
- الحاجة إلى قدرة أكبر أو سعة أكبر
- الحاجة إلى خدمات كثيرة
- الحاجة إلى أجهزة ومعدات منخفضة التكاليف

١- ٢- ٤ كيفية عمل GSM

GSM يشتغل على نَحو مماثل من الشبكة الإذاعية الخلوية الحالية. الاختلاف الرئيس هو أنّ مشتركي GSM يحْملونَ وحدة بطاقة هويةِ مشتركٍ فريدةٍ تَحتوي على ذاكرة معالج دقيقِ لخَزْن المعلوماتِ الشخصيةِ مثل رقم الهاتف النقّالِ، القفل والأرقام المتكررة الطلب. يتم تشغيل الهاتف النقّال بإدْخال بطاقةِ وحدةِ المشتركَ التي تَعْني بأنّ المشترك يُمْكِنُ أَنْ يُجري ويَستلمُ ويَكُونُ له حساب لمكالماته على رقمه الخاصِ باستعمال أيّ هاتف GSM. يختبر GSM صلاحية بطاقةِ SIM كُلَّ مَرَّةٍ تُستَعملُ لَمنْع الكلفة الخاطئة وعند السفر ليس هناك حاجة لحمل الهواتف النقالة ولكن كل ما نحتاجه هو حمل البطاقة الذكية SIM.

١- ٢- ٥ عمارة الشبكة لنظام GSM

عمارة الشبكة تعرف وظيفية العناصر للشبكةِ، الوصلات بين هذه العناصرِ وتدفقِ المعلوماتَ بين تلك الوصلاتِ. يتكون بناء النظام GSM من نظامين فرعيين وهما نظام التبديل ونظام محطات القاعدة.

أولا: نظام التبديل The switching system(SS)

يتكون نظام التبديل من :

- **مركز التبديل للمتنقلات** Mobile Switching Center (MSC)

يقوم بتحويل المكالمات بين المتنقلات بعضها بعضاً أو بين المتنقلات وشبكة الهواتف العامة.

- **مسجل الموقع المحلي** Home Location Register(HLR)

يحتوي على جميع البيانات لجميع مشتركي المتنقلات المحليين المسجلين في منطقته.

- **مسجل موقع الزائر** Visitor Location Register

يحتوي على جميع البيانات لجميع مشتركي المتنقلات الزائرين لمركز تبديل المتنقلات في منطقته.

- **مركز التوثيق** Authentication Center (AUC)

يقوم بتخزين البيانات اللازمة لحماية المشتركين من المتطفلين مثل الشفرة الخاصة بكل منهم ويتحقق من المشترك قبل إجراء المكالمة، وهناك طريقتان لتمييز المشتركين الأولى تعرف بالهوية الدولية للمشترك المتنقل(International Mobile Subscriber Identity(IMSI)) والثانية تعرف بالهوية الدولية للجهاز المتنقل (International Mobile station Equipment Identity(IMEI)) ويستخدم لمنع استغلال الأجهزة المسروقة أو غير المرخصة ويتكون IMSI من شفرة خاصة بالبلد Mobile Country Code(MCC) + شفرة الشبكة المتنقلة(MNC) Mobile Network Code + رقم يميز المشترك في الشبكة المتنقلة الأرضية العامة Public Land Mobile Network(PLMN).

- **مسجل هوية المعدات** Equipment Identity register (EIR)

يتصل بمركز خدمات الوحدات المتنقلة ويمنع استخدام الأجهزة المسروقة.ويحتوي على جميع بيانات الأجهزة المتنقلة.

ثانياً: نظام محطات القاعدة The Base Station System(BSS)

يتكون نظام محطات القاعدة من كيانين هما:

- **وحدة التحكم في محطات القاعدة** Base Station Controller (BSC)

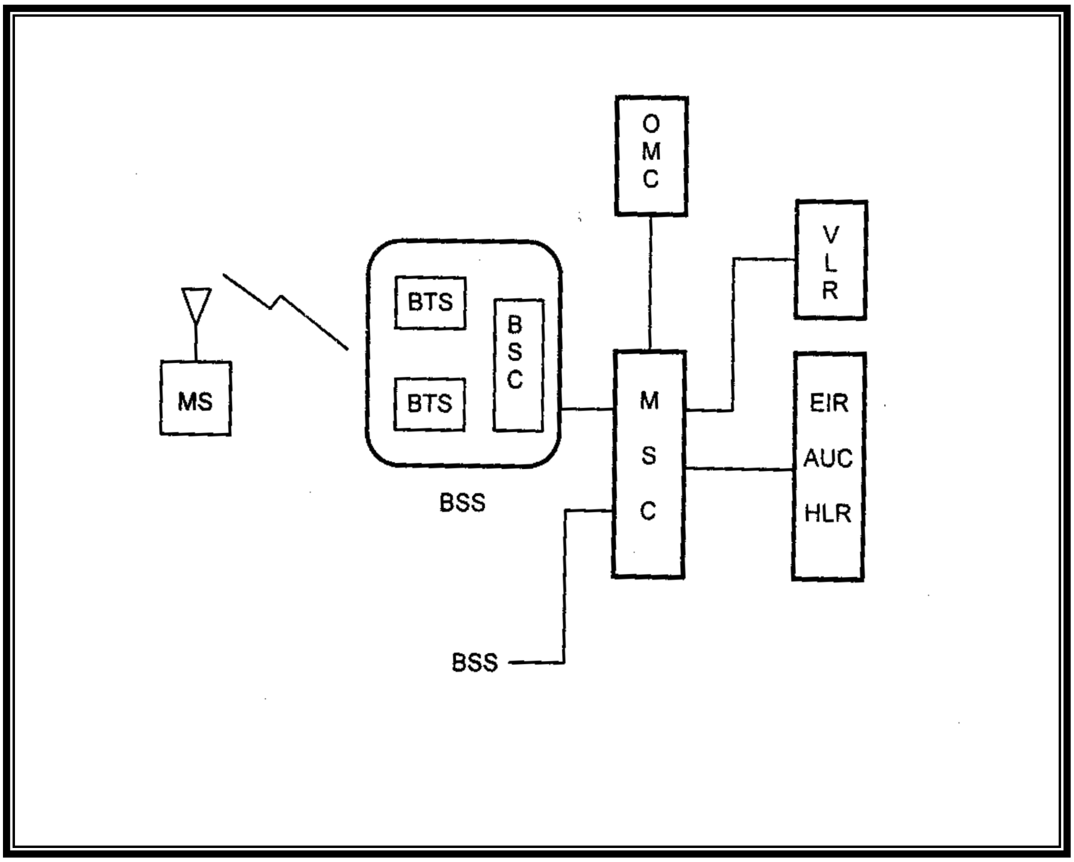
تتحكم في إعدادِ النداءِ وتشغيل المرسل والمستقبل لمحطات القاعدة.

- **نظام القاعدة للاتصال**Base Transceiver System (BTS)

يعالج الإرسال الإذاعي الفعلي من وإلى المحطةِ النقّالةِ.

١- ٢- ٦ مكونات نظام GSM

شكل(١- ٦) يبين المكونات الأساسية لنظام GSM ، وسوف يتناول الجزء التالي وظيفة هذه المكونات.



الشكل(١- ٦) يوضح مكونات نظام

- **المحطة المتنقلة Mobile Station(MS)**

توجد ثلاثة أنواع أساسية من المحطات المتنقلة كما هو موضح في شكل(١- ٧) وهي:

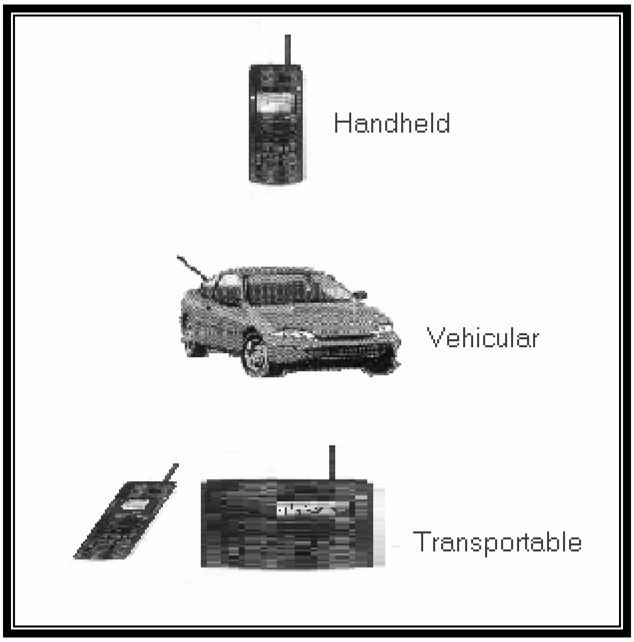
١. المحطات الخاصّة بالسيارات vehicular station .

٢. المحطات المحمولة أو النقالة portable stations.

٣. المحطات المحمولة باليد(الجوال) handheld stations.

المحطات النقَّالة هي أجهزة طبيعية تستعمل من قبل المشتركِ ليتمكن من الدخول إلى نظام GSM وتتضمن الأجهزة الإذاعية ومواجهة الماكينة الرئيسةِ(main machine interface) وقَدْ يُدرجُ نصٌّ للبياناتِ بالإضافة إلى اتصالات الصوتِ وكُلّ محطة نقَّالة تعرف برقم هويةِ الأجهزةِ النقالة الدولي الذي يخزن

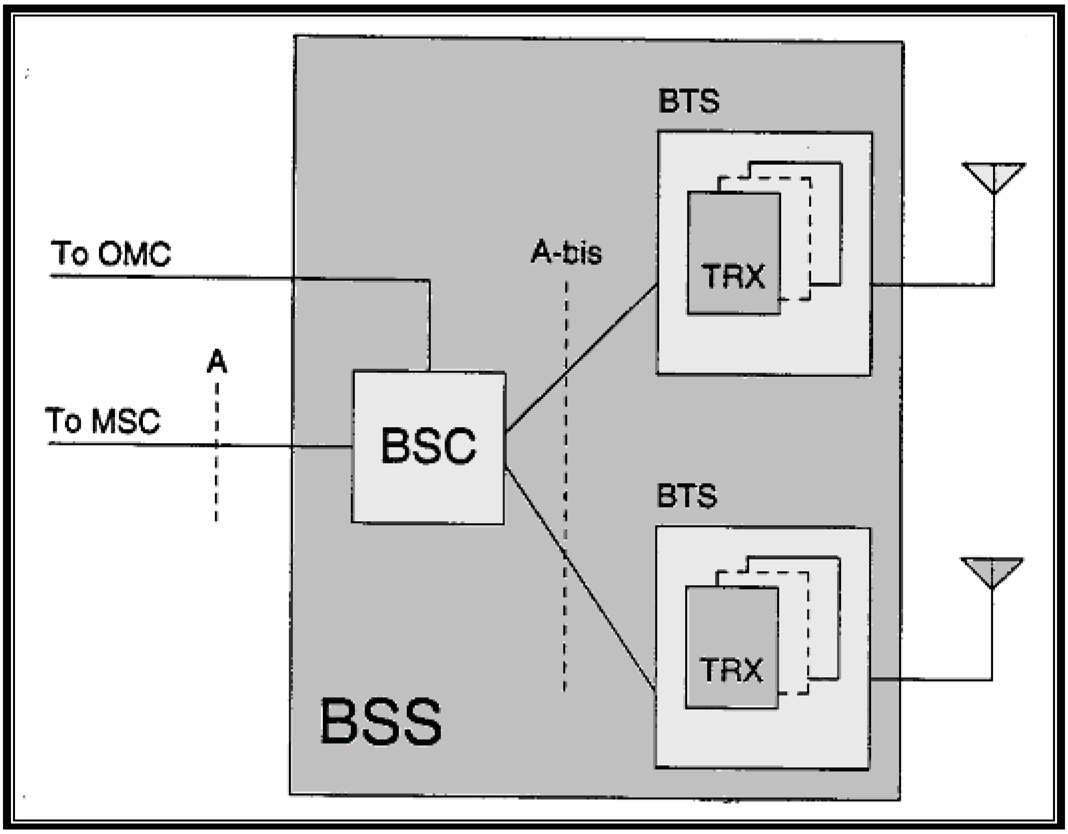
بشكل دائم، وبناءً على الطلب ترسل المحطة النقالة هذا الرقم من إشارة القناة إلى مركز التبديل أو التحويل للنقالات ويستخدم رقم هوية المشترك لتعريف أو تحديد المشترك النقّال وليس المحطة النقالة ويُمْكِنُ أَنْ يُخصّصَ رقم هويةِ مؤقتِ للمشترك الذي يُمكنُ أَنْ يَكُونَ متغيراً بشكل دوري لتفادى أَنْ يُميّز، وبالتَمييز بين هويةِ المشتركِ وهويةِ الأجهزةِ، يوجه GSMالمكالمات وينجز الفاتورة مستندا على هويةِ المشتركَ المخزنة على بطاقةSIM وعند إدخال بطاقة SIM في المحطة النقالة يكشف موقع المشتركِ الجديدِ ويسمح بالتوجيه الصحيحِ لوصول المكالمات.



الشكل(١- ٧) يبين أنواع المحطات المتنقلة

- نظام المحطات القاعدية Base Station System (BSS)

نظام المحطات القاعدية عبارة عن معدات طبيعية تستخدم لتعطي تغطية إذاعية للمكالمة ووظيفياً تنقسم إلى نظام القاعدة للاتصال(BTS) و وحدة التحكم في محطات القاعدة (BSC) كما هو موضح في شكل(١- ٨).



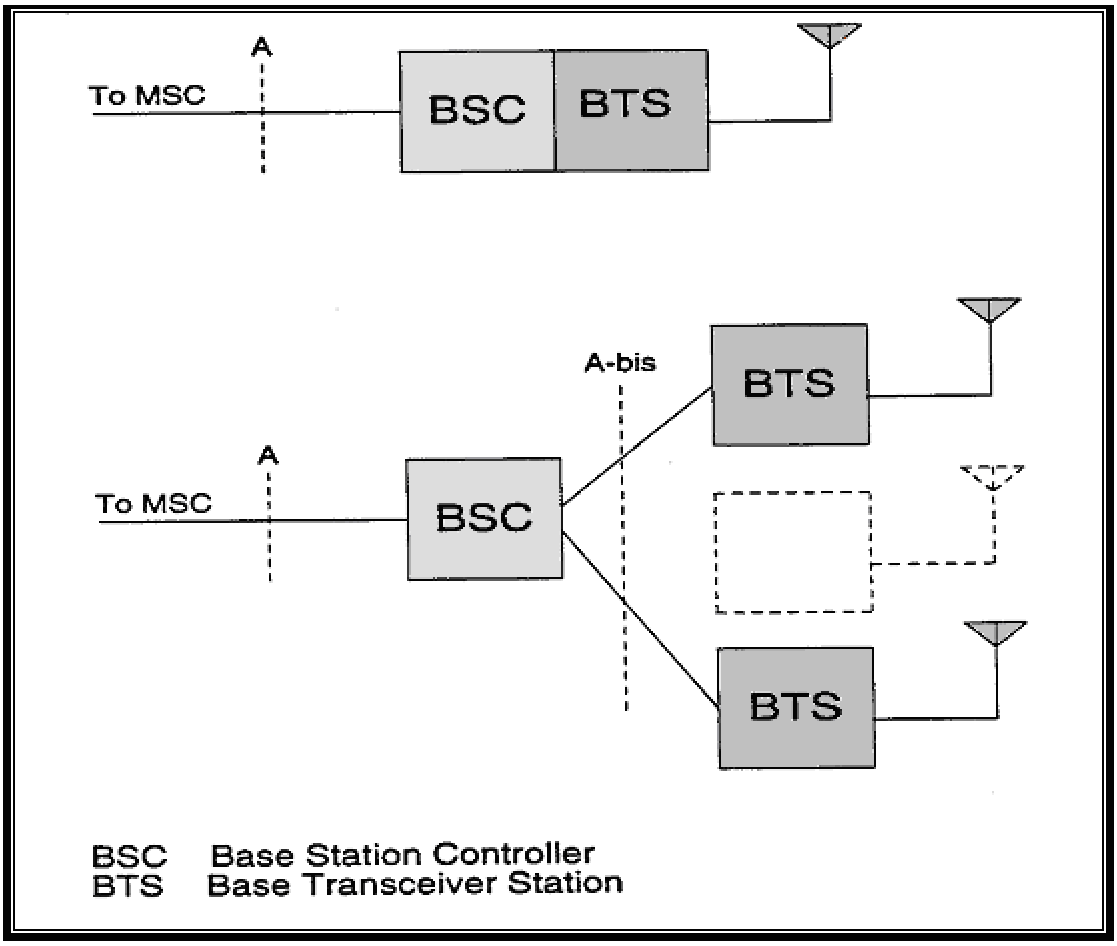
الشكل(١- ٨) يوضح نظام محطات القاعدة

- نظام محطة القاعدة للاتصال(Base transceiver station (BTS

هو عبارة عن معدات نقل للتغطية الإذاعية لخدمة خلية واحدة من الشبكة الخلوية ويتكون من نظام اتصالأو أكثر ولَهُ رمزُ هويةِ قاعدةِ واحد(BSIC) الذي يُعرّفُ الخليةَ محلياً بين ٦٤ خليةِ مجاورةِ كما رَأى مِنْ المحطةِ النقّالةِ وله أيضا هوية خلية موحدة واحدة التي تعرف الخلية من الشبكة. يوجد عِدّة نظم قاعدة اتصالفي نفس الموقعِ، تُنتجُ من مقطعين إلى أربعة مقاطع خلايا حول برج هوائي مشتركِ.

- وحدة التحكم في محطات القاعدة (Base Station Controller (BSC

تتحكم في وحدة أو أكثر منBTS كما يشير شكل(١- ٩)، وعادة تتحكم في تشغيل من ٢٠ إلى ٣٠ وحدة من BTS، والوصلة من BSC إلى BTS يطلق عليها وصلة A-bis وهذه الوصلة داخلية في محطة القاعدة وتكون اختيارية لتسمح باستخدام BSCs و BTSs من مختلف المصنعين.



الشكل(١- ٩) يوضح عمل وحدة التحكم لمحطات القاعدة

نظام المحطات القاعدية(BSS) يتكون من وحدة BSC ووحدة أو عدة وحدات من BTS ويتم توصيل نظام المحطات القاعدية من خلال وصلة الشبكة A وهي الوصلة الرئيسة التي يمكن من خلالها التأكد أنه يمكن التوصيل بين BSCs و MSCs من مختلف المصنعين ومحطة القاعدة هي المسئوولة عن:

١. تخصيص القناة Channel allocation.
٢. جودة التوصيل Link quality.
٣. رقابة التكلفة الكهربائيةPower budget control.
٤. السيطرة علي الحركة والتأشير الإذاعي Signaling and broadcast traffic control.
٥. قفز التردد Frequency hopping.
٦. بدء المناولة Handover initiation.

- مركز التبديل للمتنقلات **Mobile Switching Center (MSC)**

تَتضمّنُ وظائف مركزِ التبديل للمتنقلات شكل(١- ١٠) الآتي:

١. معالجة النداء التي تتحمل الطبيعة النقالة مِنْ المشتركين
call handling that copes with mobile nature of subscribers.

٢. إدارة قناةِ الوصلةِ الإذاعيةِ المنطقيّةِ المطلوبةِ أثناء النداءات
Management of required logical radio link channel during calls.

٣. إدارة نظام التأشير بين نظام المحطات القاعدية(BSS) ومركز التبديل للنقالات(MSC)
Management of MSC-BSS signaling protocol

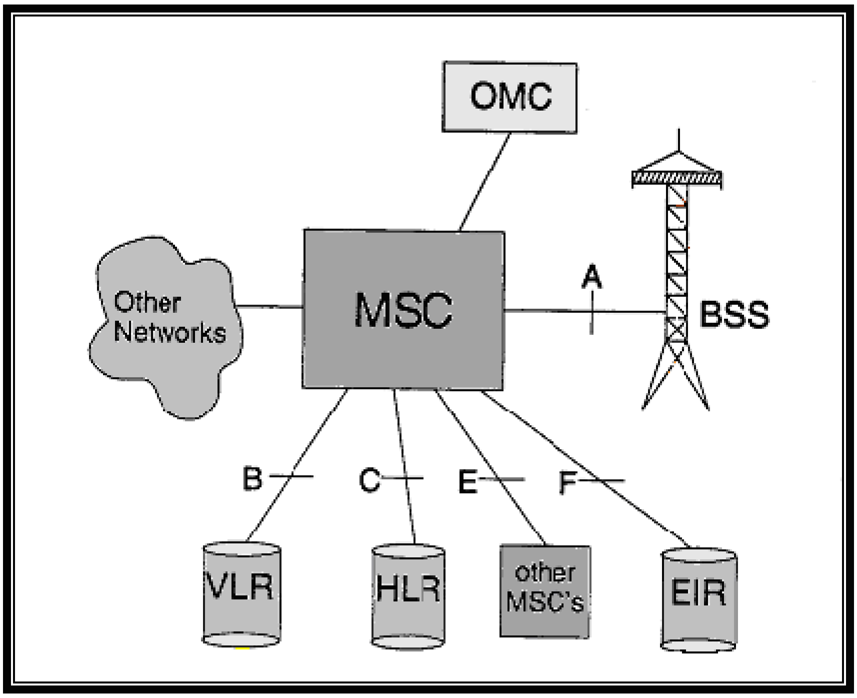
٤. معالجة تسجيلِ الموقعِ والتأكد من التَفَاعُل بين MS وVLR
Handling location registration and ensure interworking between MS and VLR.

٥. يسيطر على المناولات بين BSS
Control of inter-BSS handovers

٦. يعمل كبوابة متنقلة للمقسم المركزي لاستجواب HLR وVLR
Acting as a gateway mobile switching center to interrogate the HLR and VLR.

٧. تبادل إشارة المعلوماتِ بكياناتِ النظمِ الأخرى
Exchange of signaling information with other system entities.

٨. الوظائف الطبيعية الأخرى لمفتاح تبادلِ محلي في الشبكةِ الثابتة.
Other normal functions of a local exchange switch in the fixed network

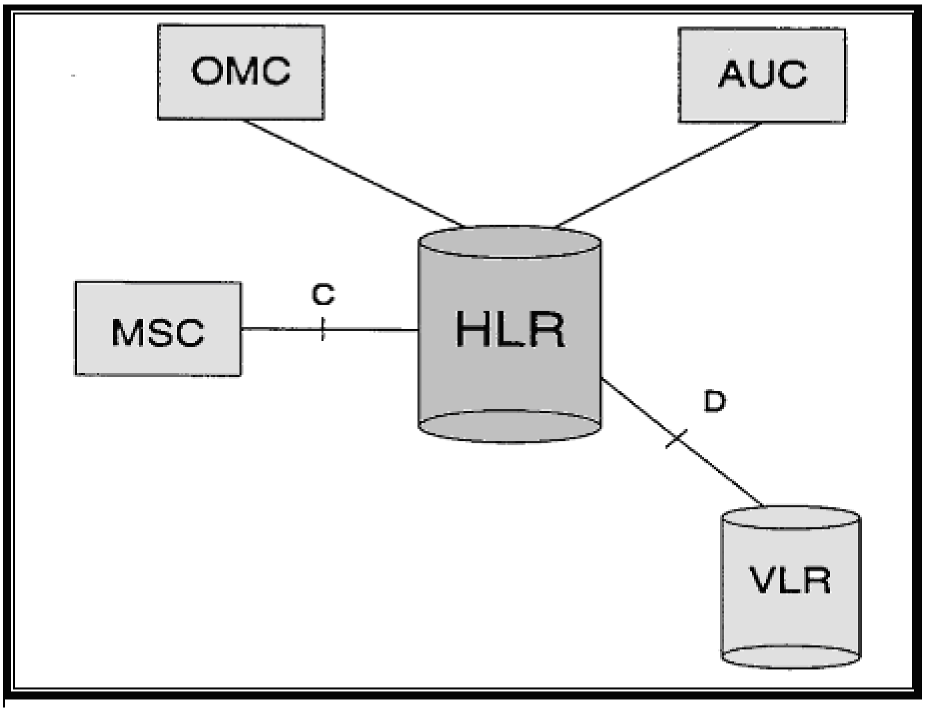


الشكل(١- ١٠) يبن مركز التبديل للمتنقلات

- مسجل الموقع المحلي **Home Location Register (HLR)**

يحتوي مسجل الموقع المحلي (HLR) الموضح بشكل(١- ١١) على:

١. هوية لمشترك النقال Identity to mobile subscriber.
٢. دليلِ أرقام متنقلات الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملةِ Integrated services digital network directory number of mobile.
٣. معلومات اشتراك على الخدمات عن بعد وحامل الخدمات Subscription information on teleservices and bearer services.
٤. قيود الخدماتِ Services restrictions.
٥. الخدمات الإضافية supplementary services.
٦. معلومات الموقعِ لتوجيه النداءِ Location information for call routing.

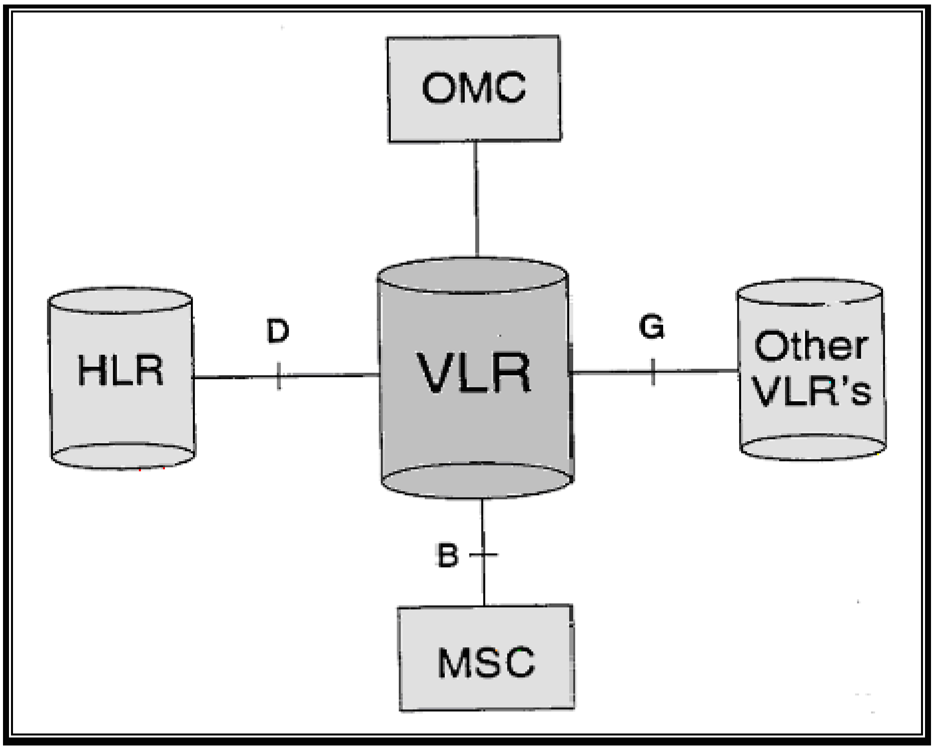


الشكل(١- ١١) يوضح مسجل الحالة المحلي

- مسجل موقع الزائر Visitor Location Register

يحتوي مسجل موقع الزائر (VLR) الموضح بشكل(١- ١٢) على:

١. هوية مشترك النقال Identity of mobile subscriber.
٢. أيّ هوية مؤقتة لمشترك النقال Any temporary mobile subscriber identity.
٣. رقم دليل الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات للنقّال ISDN directory number of mobile.
٤. رقم الدليل لتوجيه النداءات إلى محطة التجوال A directory number to route calls to a roaming station.
٥. منطقة الموقع حيث يتم تسجيل النقال Location area where mobile is registered.
٦. نسخة من بيانات المشتركين من مسجل الموقع المحلي Copy of subscriber data from HLR.



الشكل(١- ١٢) يوضح مسجل موقع الزائر

- مسجل هوية المعدات Equipment Identity register (EIR)

يحتوي مسجل هوية المعدات أو الأجهزة شكل(١- ١٣) على ما يأتي:

١. القائمة الصحيحة Valid list:

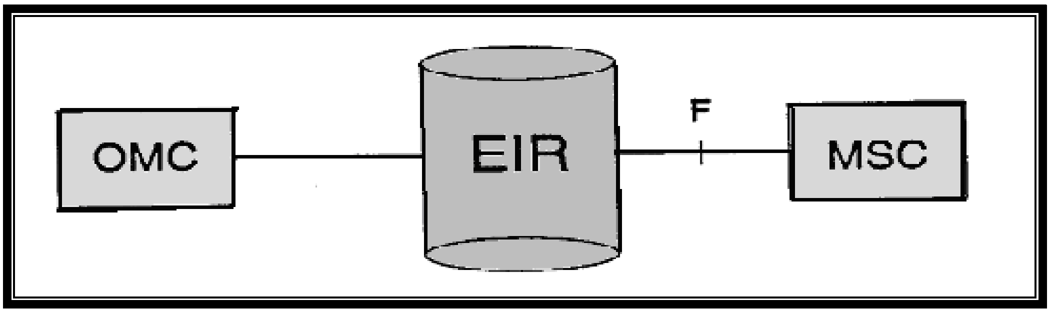
هي القائمة الصحيحة لهويات أجهزة أو معدات المحطات المتنقلة.

٢. قائمة المشبوهين Suspect list:

هي قائمة الهواتف النقالة تحت الملاحظة.

٣. القائمة المحتالة Fraudulent list:

قائمة الهواتف النقّالة لأيّ خدمة مخطّطة.

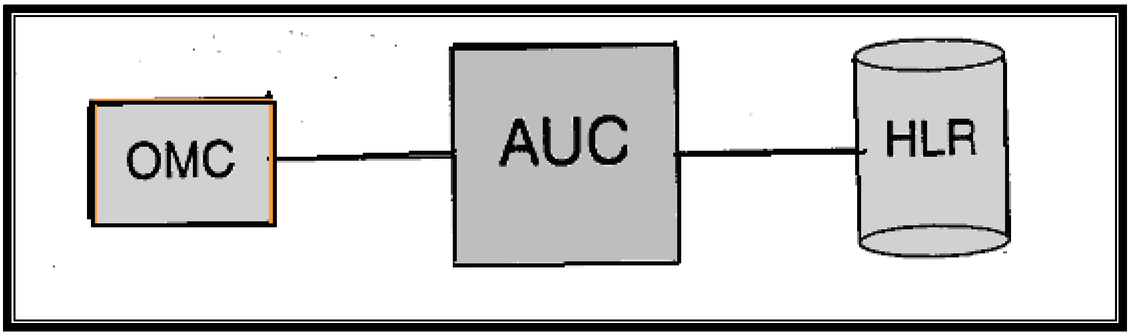


الشكل(١- ١٣) مسجل هوية المعدات

- **مركز التوثيق (AUC) Authentication Center**

مركز التوثيق يرتبط عمله بكل من مسجل الموقع المحلي(HLR) ومركز التشغيل والصيانة(OMC) كما هو مبين في شكل(١- ١٤) ويمكن تلخيص عمله ما يلي:

١. يحتوي علي بيانات توثيق المشترك تسمي مفاتيح التوثيق ويرمز لها Ki.
٢. توليد بارامترات الأمن ذات العلاقة المطلوبة لتخويل الخدمة باستخدام مفاتيح التوثيقKi.
٣. توليد شكل بيانات موحد يسمي مفتاح الشفرة المطلوب لتشفير كلام وبيانات المستعمل.



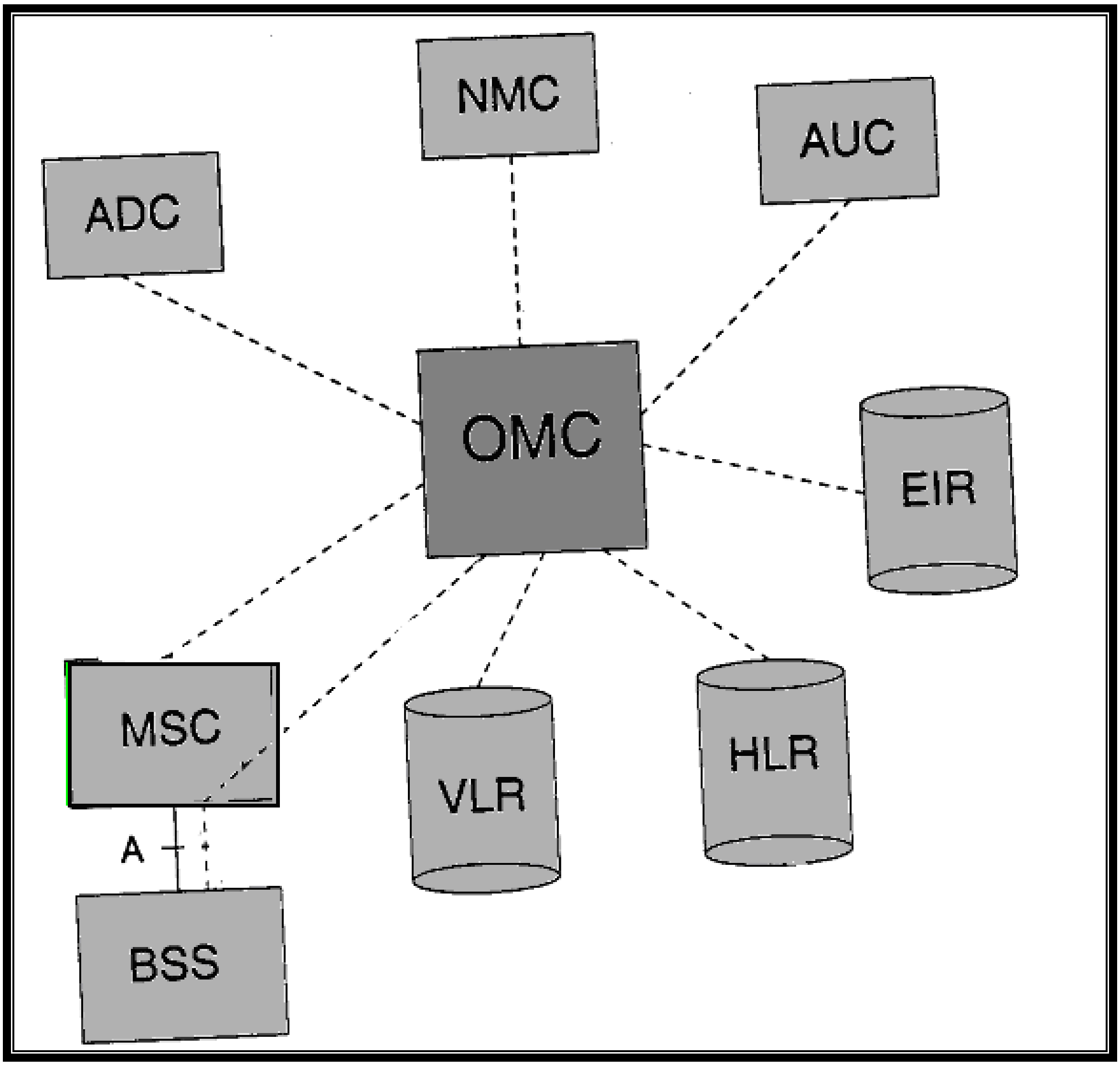
الشكل(١- ١٤) يبين مركز التوثيق

- **مركز التشغيل والصيانة (MOC) Operation and maintenance center**

هو العنصر المركزي للسيطرة والمراقبة على عناصر الشبكة الأخرى وبتضمن ذلك نوعية الخدمة المقدمة بالشبكة كما هو موضح في شكل(١- ١٥)، فكل من عناصر الشبكة الأخرى يمكن أن يتم السيطرة عليها عن بعد بواسطة مركز التشغيل والصيانة.

مركز الصيانة والتشغيل ينقسم إلى منطقتين وظيفيتين رئيسيتن هما:

١. مركز الصيانة والتشغيل جزء التحويل Operation and maintenance center switching part(OMC-S)
يقوم بإدارة وظائف التحويل أو التبديل في الشبكة.
٢. مركز الصيانة والتشغيل الجزء الراديوي Operation and maintenance center radio part(OMC-R)
يقوم بإدارة وظائف نظام المحطات القاعدية للشبكة.



الشكل(١- ١٥) يوضح مركز التشغيل والصيانة

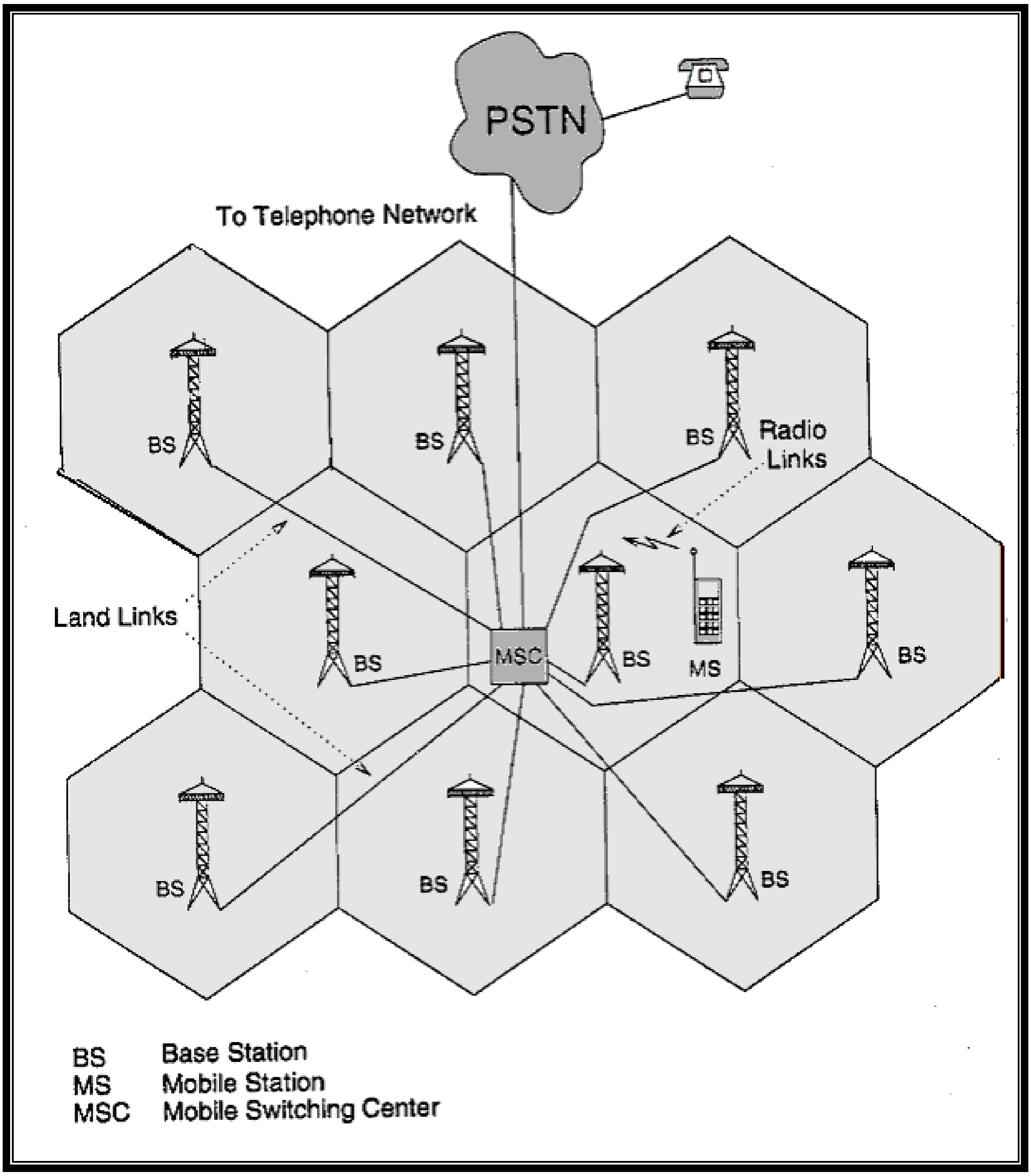
١- ٣ التركيبة الجغرافية لشبكة GSM

كل الشبكات تحتاج إلى بناء محدد ومعلوم لتوجيه النداءات، وفي شبكات الجوال يستخدم البناء لمراقبة موقع المحطةِ النقَّالةِ.

١- ٣- ١ التركيب الخلوي The Cellular Structure

يتركب النظام الخلوي من ثلاثة مكونات رئيسة وهي مركز تبديل المتنقلات والمحطة القاعدية والمحطة المتنقلة وفي النظام الخلوي الحقيقي يقوم مركز التبديل للمتنقلات بخدمة عدد من محطات

القاعدة وكل محطة تخدم منطقة تغطية تعرف بالخلية. مركز تبديل المتنقلات يقوم بتوصيل شبكة الخلوي مع الشبكة الأرضية. وحينما يسافر الجوال من خلية إلى خلية سيقوم مركز التبديل للمتنقلات بتحويل النداء من محطة قاعدة إلى أخرى وهو ما يطلق عليه المناولة(handover).وتستطيع محطة قاعدة واحدة أن تخدم عدة محطات متنقلة تقع في نفس مساحة الخلية في آن واحد. الشكل(١- ١٦) يوضح تركيب النظام الخلوي.



الشكل(١- ١٦) يوضح تركيب النظام الخلوي

١- ٣- ٢ المفاهيم الخلوية الأساسية Basic cellular concepts

المبادئ الأساسية للنظام الخلوي يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- التخصيصُ الطيفيُ الثابتُ يحدد عدد القنواتِ المشاركة التي يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ.
- القنوات يجب أنْ يعاد استعمالها في كافة أنحاء منطقةِ الخدمة لتدعيم طلب الخدمة.
- اضمحلال الإشارة مع المسافةِ يَسْمحُ بإعادة استعمال القناة.

عندما يَنْظرُ إلى الشبكةِ الخلوية ، يجب أن يتم فهم عدد مِنْ المبادئِ الرئيسة المهمة حيث إن الطيفَ المخصص للشبكة الخلوية محدد.وكنتيجة لذلك فعددِ القنواتِ التي يمكن أَنْ تُستعمل محدود والشبكة الخلوية يُمْكِنُ فقط أَنْ تُقدّمُ خدمةَ إلى عدد كبير مِنْ المشتركين، إذا تم إعادة استعمال القنوات المخصصة.

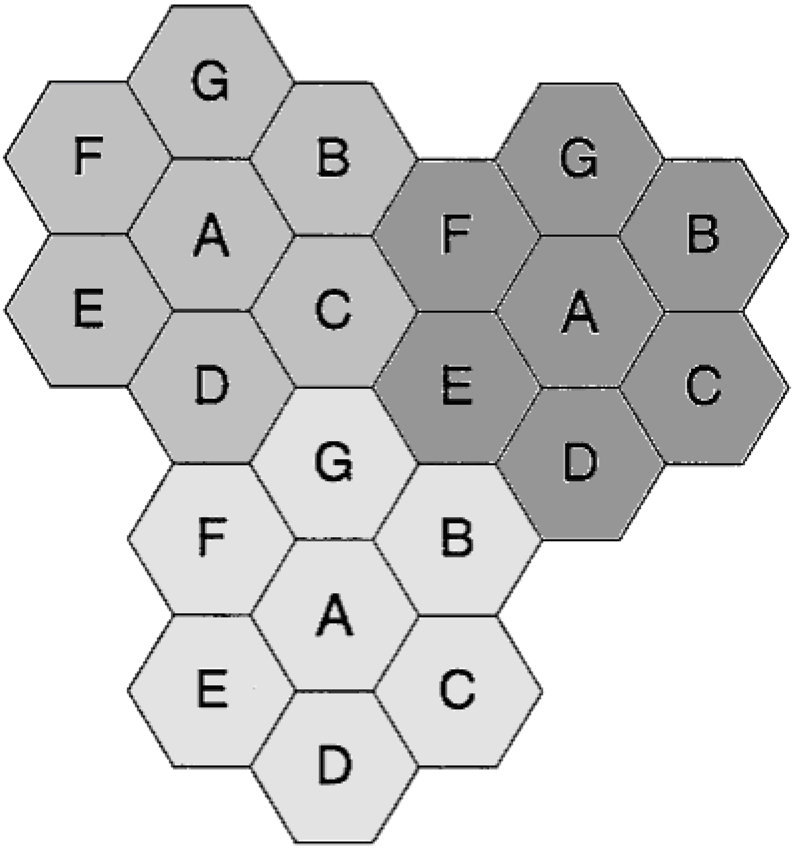
إعادة استعمال القناة يتم تنفيذه باستعمال نفس القنواتَ ضمن المنطقةِ، المسمّاة بالخلايا والمحددة في المواقعِ المختلفة في منطقةِ خدمة الشبكةِ الخلوية. فإعادة استعمال القناةُ يكون ممكناً كنتيجة لاضمحلال الإشارة مع المسافةِ إلى المحطة القاعدية. فعندما تصبح المسافة بين الخلايا التي تستعمل نفس القناة صغيرة جداً قد يحدث تداخل على نفس القناة ويُؤدّي إلى إعاقة للخدمة أَو نوعية غير مقبولةِ مِنْ الخدمة.وفي الحقيقة، عند هندسة الشبكة الخلوية، المبادلة الأكثر أهميةً هي المواءمة بين السعة وأداءِ النداءِ حيث تزداد سعة النداءِ مع زيادة إعادة استعمال القناة بينما ينقص الأداء كنتيجة للتداخل المكبر على نفس القناة.

في هذا الجزء سوف يتم شرح قضايا إعادة استعمال القناة واضمحلال الإشارة وتجمع الخلية وعلاقتِها ببعضها البعض. وسيتم أيضاً توضيح تأثيرات هذه القضايا على مبادلةالسعة والأداء.

- **إعادة استعمال القناة Channel reuse**

يمكن إعادة استعمال القنوات الراديوية بشرط أن يكون الفاصل بين الخلايا التي تَحتوي نفس مجموعةِ القناةِ كافية جداً لكي يبقي التداخل على نفس الخلية تحت مستويات القبول أغلب الوقت. الشكل(١- ١٧) يوضح ثلاث تجمعات خلايا كل تجمع يتكون من ٧ خلايا ويوجد ٧ مجموعات للقناة من A إلى G.

تستخدم كل مجموعات القناة في تجمع من خلايا متجاورة وحيث أنه يوجد ٧ مجموعات للقناة لذا يمكن أن تقسم شبكة المتنقلات الأرضية العامة إلى تجمعات وكل تجمع يتكون من ٧ خلايا. الشكل(١- ١٧) يشير إلى ثلاثة تجمعات عناقيد.



الشكل(١- ١٧) يوضح إعادة استعمال القناة

عدد الخلايا في العنقود الواحد K وفي شكل(١- ١٧) K=7 ويمكن إيجاد القيم الحقيقية لعدد الخلايا في العنقود K عن طريق المعادلة التالية:

$$K = i^2 + j^2 + ij \qquad \text{where i and j are integers}$$

مثال(١- ١) أوجد عدد الخلايا في العنقود ومكان خلايا القناة المجاورة للقيم التالية:

j=2 and i=3

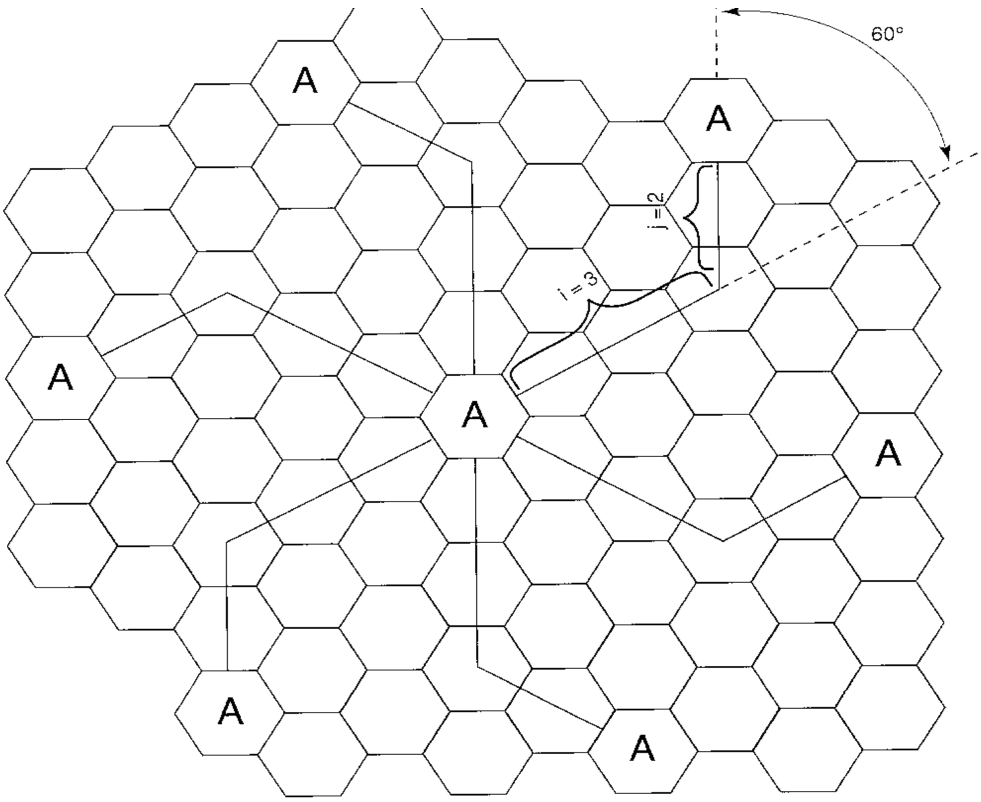
الحـــــــل

يمكن إيجاد عدد الخلايا في العنقود بالمعادلة

$$K = i^2 + j^2 + ij$$

$$K = 3^2 + (2)(3) + 2^2 = 19$$

الشكل التالي يوضح أقرب ستة صفوف لخلايا قناة مجاورة واحدة للخلية A.

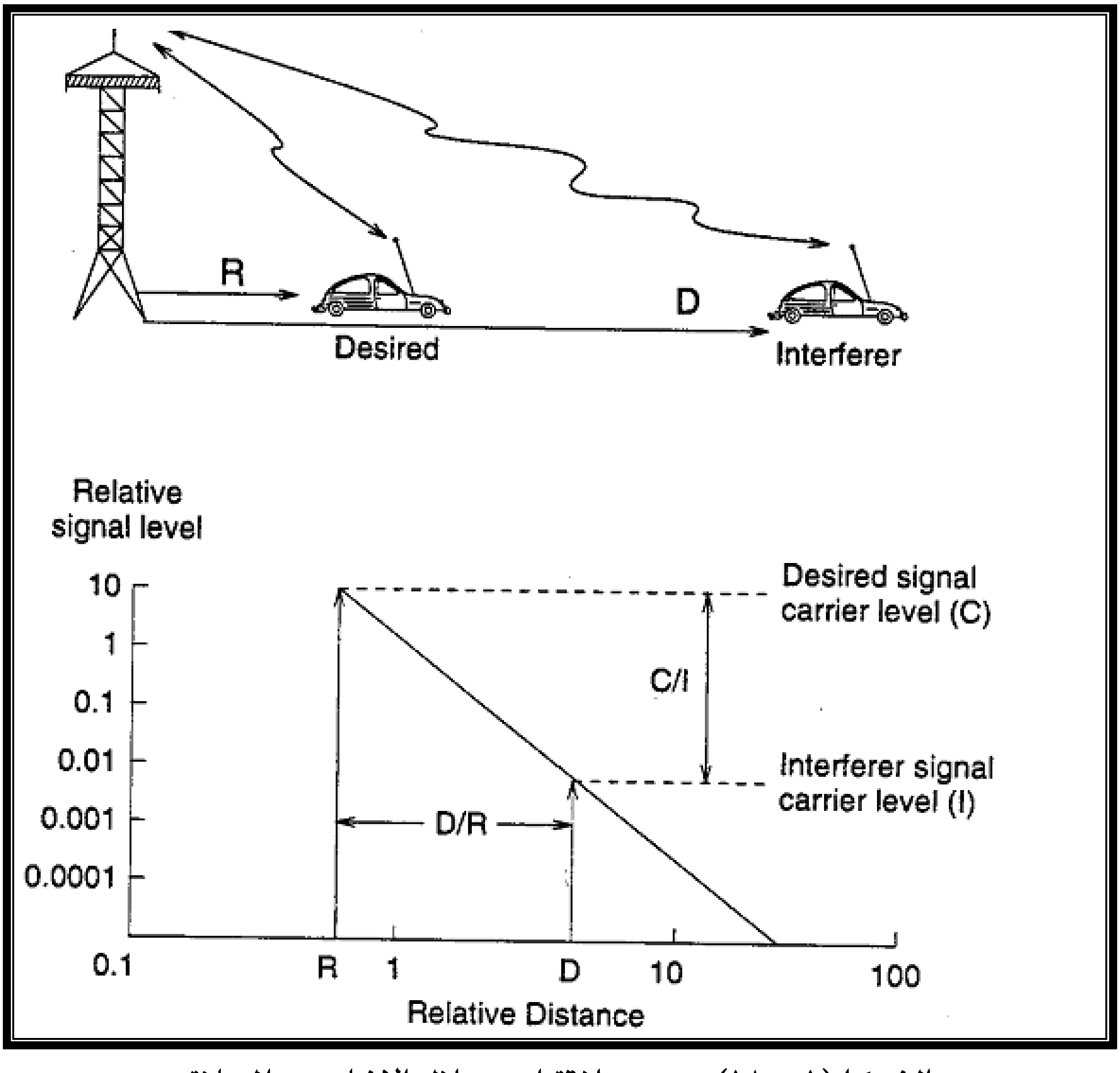


- **اضمحلال الإشارة مع المسافة Signal attenuation with distance**

يمكن إعادة استعمال الترددات في كافة أنحاء منطقة الخدمة لأن إشارات الراديو تضمحل نموذجياً مع المسافة. طالما كانت نسبة إعادة استعمال المسافةَ(D) إلى نصفِ قطر الخليةِ(R) أكبر مِنْ بَعْض القيمةِ المحدّدةِ، نسبة الاستقبال المطلوب لقدرة الحامل الإذاعي(C) إلى قدرة استقبال التداخل للحامل الإذاعي (I)ستكون أكبر مِنْ بعض الكمية المعطاة لأحجام الخلية الصغيرة بالإضافة إلى الكبيرةِ عندما ترسل كُلّ الإشارات في نفس مستوى القدرة الكهربائية.

شكل(١- ١٨) يوضح علاقة اضمحلال الإشارة مع المسافة. في محطة القاعدةِ كلتا الإشارتين مِنْ المشتركين ضمن الخليةِ التي تغطي هذه القاعدةِ والإشاراتِ مِنْ المشتركين بالخلايا الأخرى يتم استقبالها والتداخل سببه الخلايا التي تَستعملُ نفس مجموعة القناة.

النسبة D/R مِنْ الضروري أَنْ تَكُونَ كبيرةَ بما فيه الكفاية لكي تَتمكّنُ القاعدة من تَحَمُّل التداخلِ.



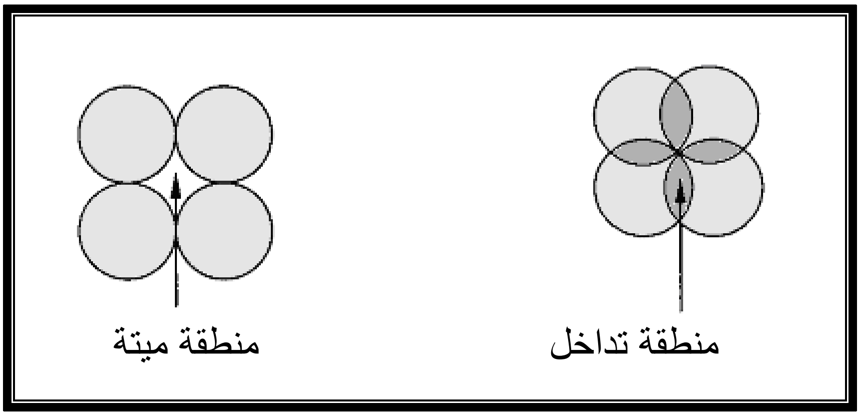
الشكل(١- ١٨) يوضح علاقة اضمحلال الإشارة مع المسافة

١- ٣- ٣ الخلية Cell

- هي الوحدة الأساسية للنظام الخلوي.
- هي المساحة التي تغطي إذاعياً بواسطة نظام الهوائي لمحطة قاعدية واحدة.
- كل خلية مخصص لها رقم محدد ولها هوية خلية عالمية.

- **الشكل الهندسي للخلية**

الشكل الدائري للخلية يعتبر من أبسط الأشكال إلا أنه لا يستخدم لأغراض التصميم حيث إن هذا الشكل ينتج إما مناطق ميتة أو مناطق تداخل كما يتضح ذلك من الشكل(١- ١٩).

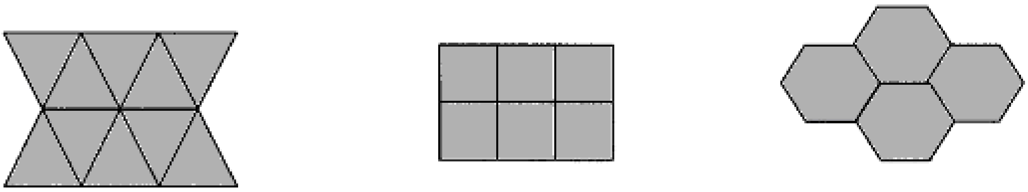


الشكل(١- ١٩) يوضح خلايا ذات شكل دائري

ولمعالجة مشاكل مناطق التداخل أو المناطق الميتة يمكن استخدام الأشكال التالية والموضحة بشكل(١- ٢٠):

١. المثلث متساوي الأضلاع Equilateral triangle
٢. المربع The square
٣. السداسي المنتظم The regular hexagon

تم تبني النظام السداسي لأسبابٍ اقتصاديةٍ وعمليةٍ حيث يمثل التغطية الكهرومغناطيسية من أي مرسل.

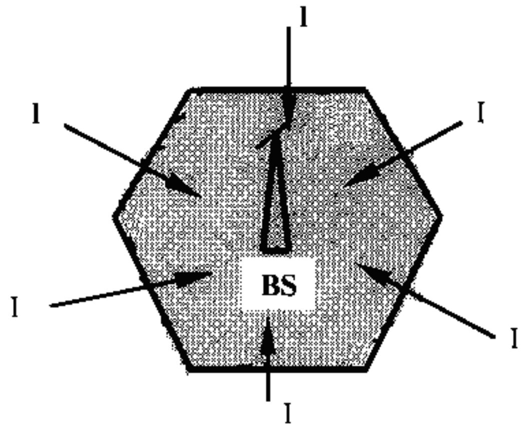


الشكل(١- ٢٠) يوضح ثلاثة مضلّعات منتظمة

- **تغطية الخلية The cell coverage**

١. الخلية المتعددة الاتجاهات ب٦ تداخلات(شكل(١- ٢١)):

- هوائي محطة القاعدة المتعدد الاتجاهات في المستوى الأفقي.
- محطة القاعدة تنير كامل الخلية.
- عدد ٦ تداخلات.



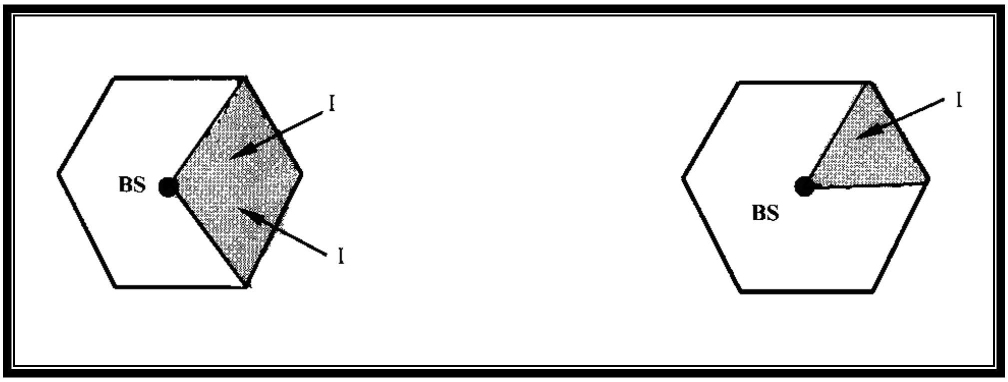
الشكل(١- ٢١) يوضح خلية متعددة الاتجاهات

٢. خلية بمقطع ١٢٠ درجة بتداخلين (شكل(١- ٢٢)):

- هوائي محطة القاعدة اتجاهي بنمط إشعاع مقطعي.
- محطة القاعدة تنير ٣ خلاياً ثانوية معينة بنمط إشعاعي بمقطع ١٢٠ درجة.
- عدد التداخلات اثنان.

٣. خلية بمقطع ٦٠ درجة وتداخل واحد(شكل(١- ٢٢)):

- هوائي محطة القاعدة اتجاهي بنمط إشعاع مقطعي.
- محطة القاعدة تنير ٦ خلايا ثانوية مثلثية بنمط إشعاعي بمقطع ٦٠ درجة.
- عدد التداخلات واحد.

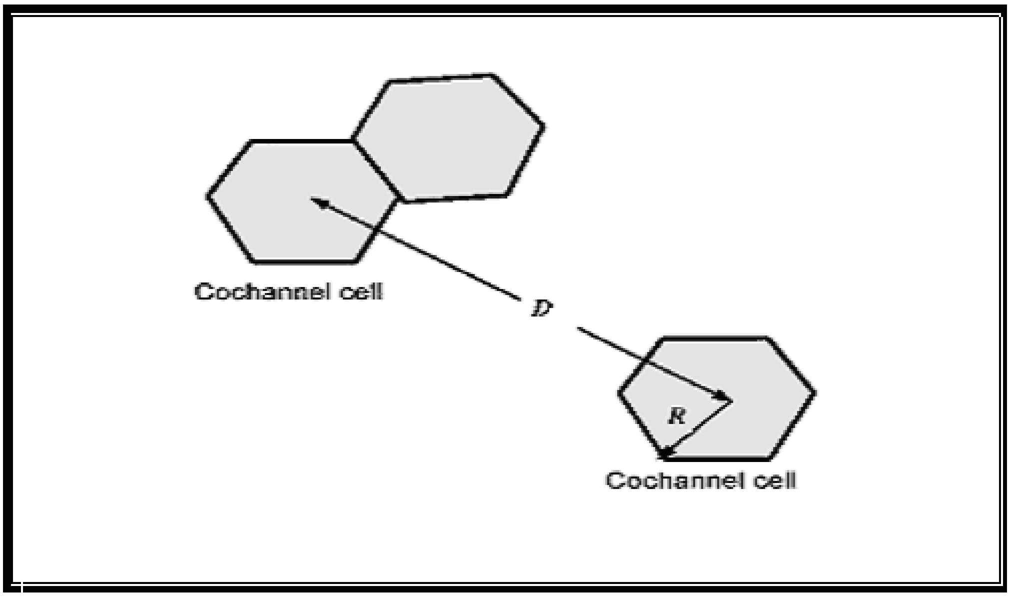


الشكل(١- ٢٣) يوضح خلاياً مقطعية

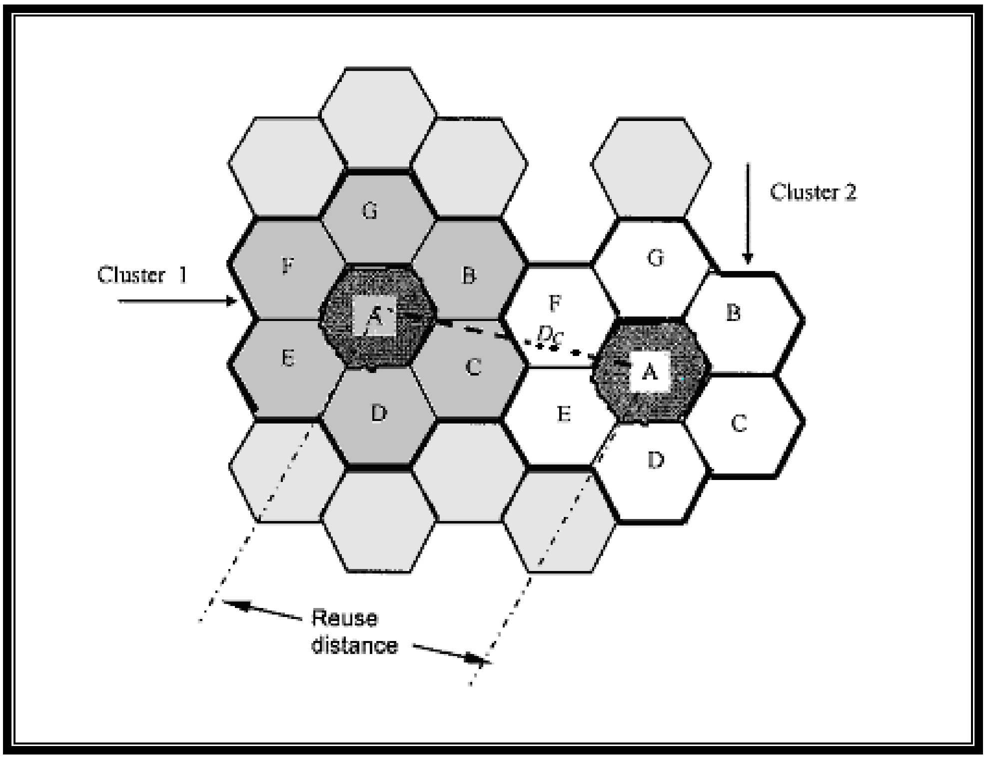
١- ٣- ٤ إعادة استعمال التردد ومفهوم التجمع أو العنقود

Frequency reuse and the concept of a cluster

- تنظم الخلايا الفسيفسائية إلى عناقيدِ
- كُلّ عنقود يُخصّصُ نطاقاً ترددياً راديوياً نقَّالاً كلياً لكي يكون مشتركاً بين خلاياه.
- شكل العنقود المضبوط ليس فريداً ولهذا يحتوي على خلية لكل مجموعة من القنوات.
- يختار حجم العنقود بحيث تتلاحم العناقيد إلى المناطقِ المتاخمةِ.
- الخليتان اللتان تستخدمان نفس القناة تسمي خلايا القناة المشتركة.كما هو موضح بشكل(١- ٢٣).
- المسافة بين مركزي أية خليتين بقناة مشتركة تسمي مسافة إعادة استعمال التردد ويرمز لها D.
- شكل(١- ٢٤) يوضح عنقودين ب٧ خلاياً تعتمد على بناء الخلية السداسي المنتظم.



الشكل(١- ٢٣) يوضح علاقة مسافة إعادة الاستعمال ونصف قطر الخلية

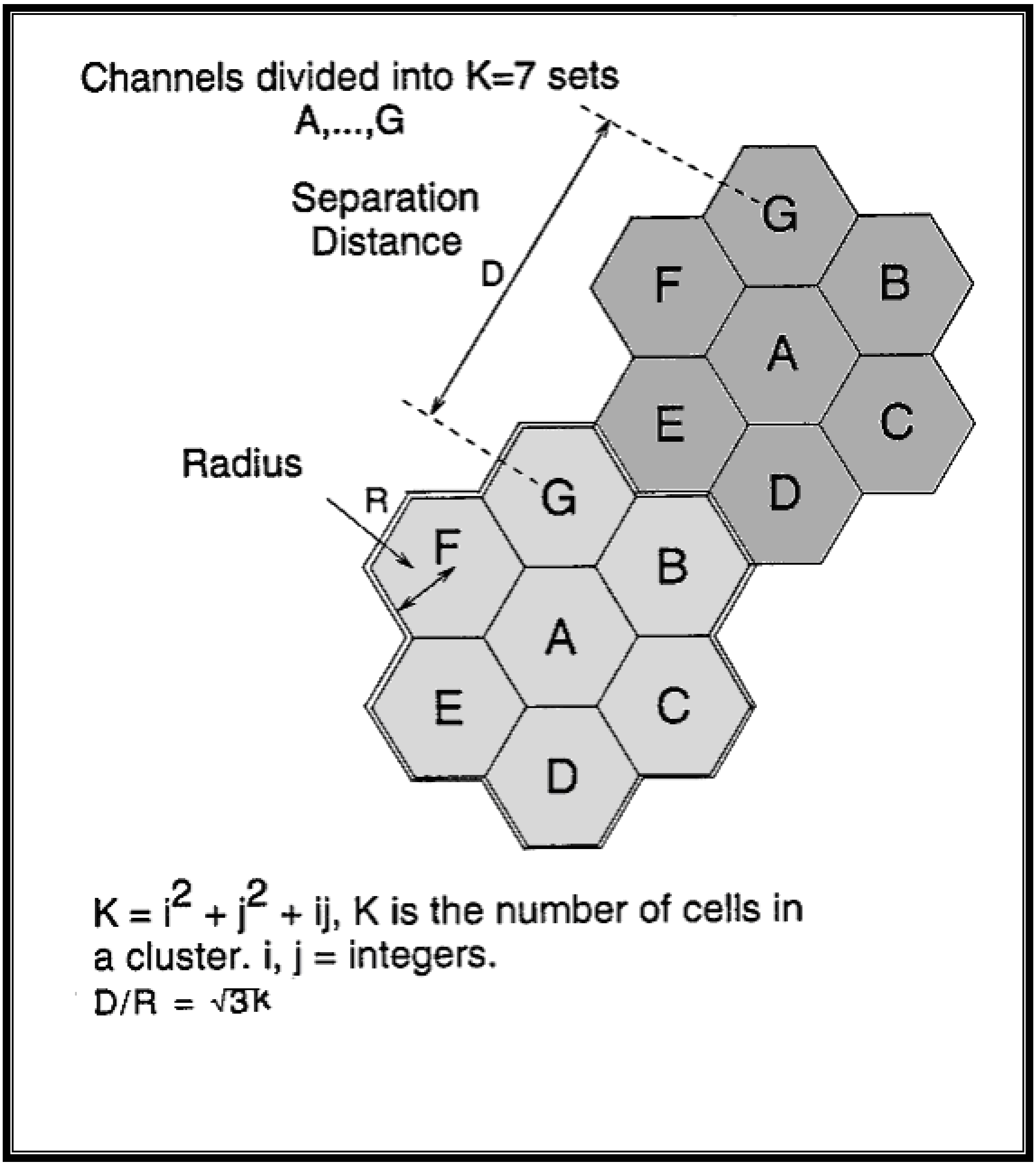


الشكل(١- ٢٤) يوضح عنقودين بسبعة خلايا

- **العلاقة بين K و D/R**

يمكن التعبير عن العلاقة بين K و D/R بالمعادلة التالية:

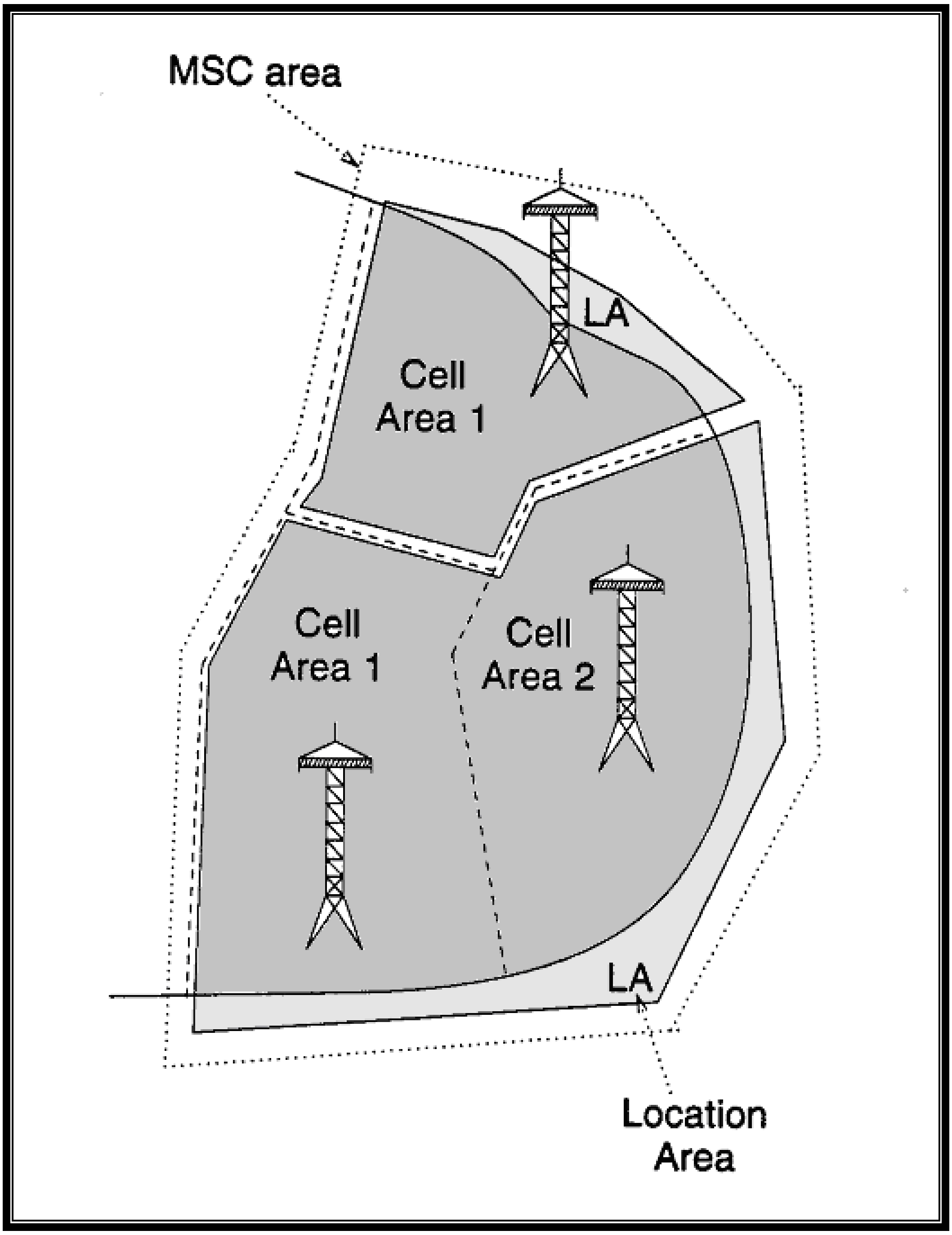
$$D/R = \sqrt{3K}$$



الشكل(١- ٢٥) مثال فيه K=7 وبالتالي D/R=4.6

١- ٣- ٤ المنطقة المحلية Location area

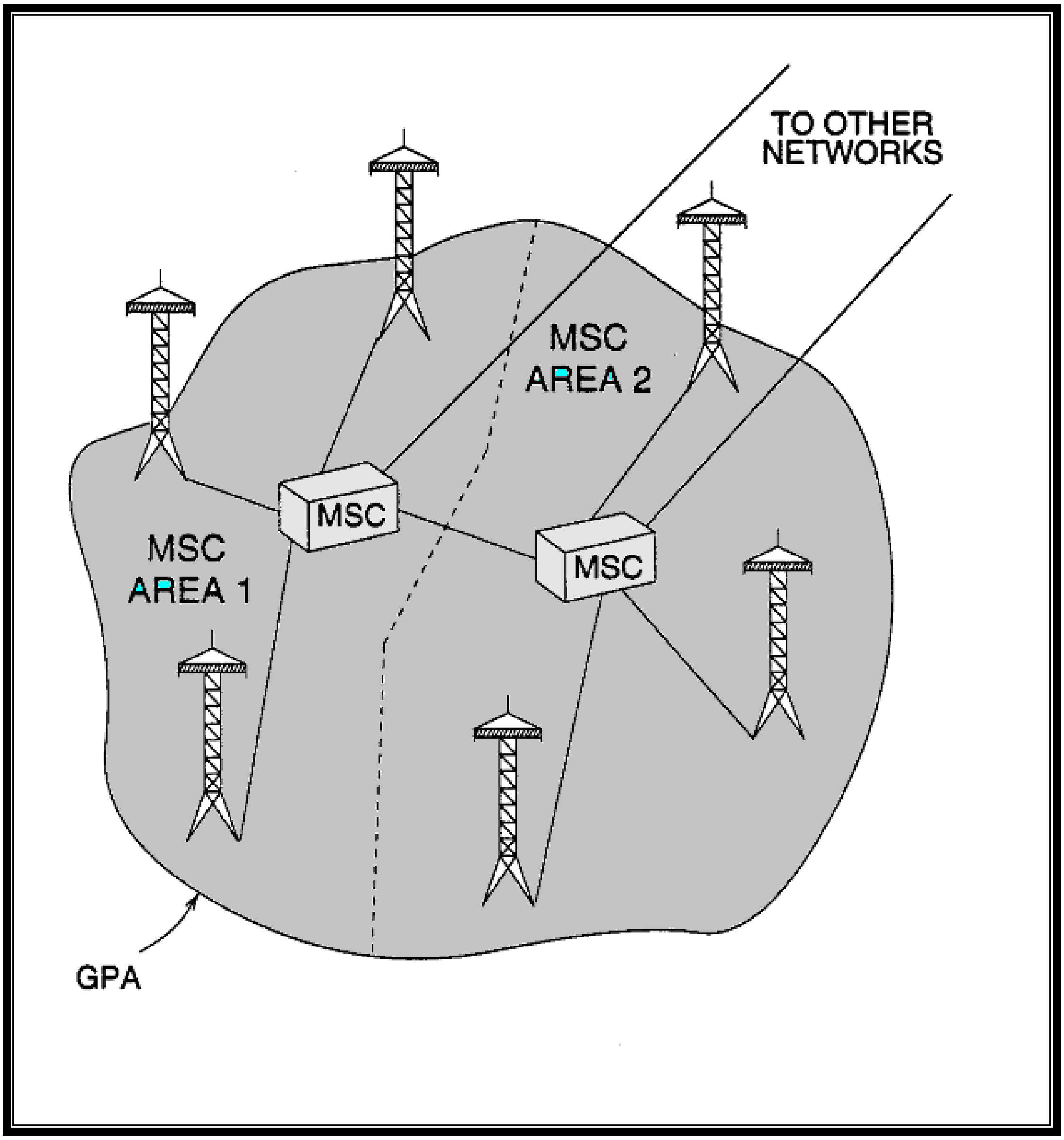
- مجموعة من الخلايا لها هوية كما يوضح شكل(١- ٢٦).
- هوية المنطقة المحلية التي تقع فيها محطة المتنقلات تخزن في مسجل موقع الزائر.
- للنداء القادمِ، تذاع صفحة الرسالة ضمن كُلّ الخلايا التي تنتسب إلى المنطقةِ المحلية.



الشكل(١- ٢٦) يبن المنطقة المحلية

١- ٢- ٥ المنطقة الخدماتية التابعة لمركز بدالات الاتصالات المتحركة(MSC)

- يخدم عدد من المناطق المحلية شكل(١- ٢٧).
- تمثل منطقة جغرافية من الشبكة يتم التحكم فيها بمركز بدلات واحد للمتنقلات.
- منطقة خدمة النظام الفرعي لمركز بدلات المتنقلات يتم تخزينه في مسجل الموقع المحلي.



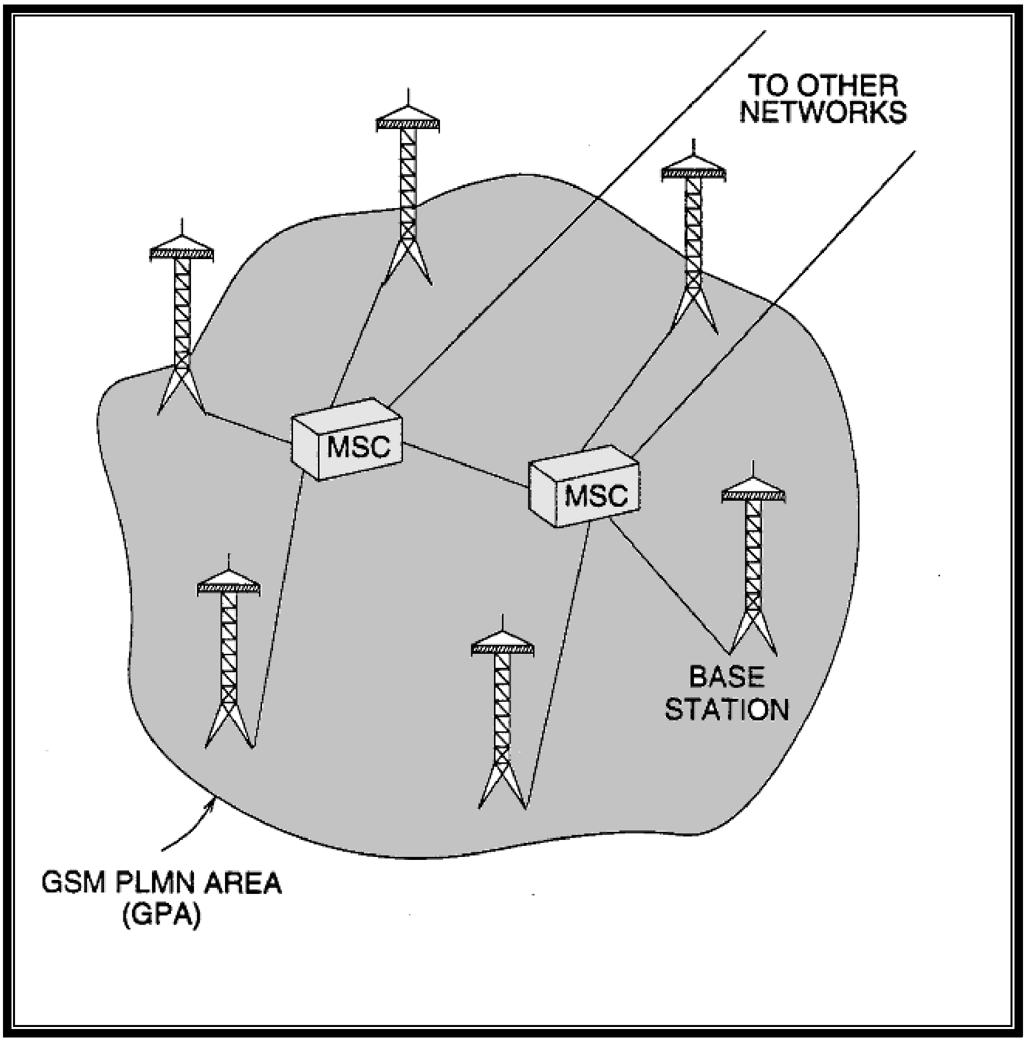
الشكل(١- ٢٧) يبين منطقة خدمة MSC

١- ٣- ٦ منطقة خدمة شبكة المتنقلات الأرضية العامة PLMN

- مجموعةِ كاملة من الخلايا يتم خدمتها مِن قِبل مشغلِ واحد
- في الدولة الواحدة يوجد عدة مناطق خدمة لشبكة المتنقلات الأرضية العامة.

١- ٣- ٧ منطقة خدمات GSM

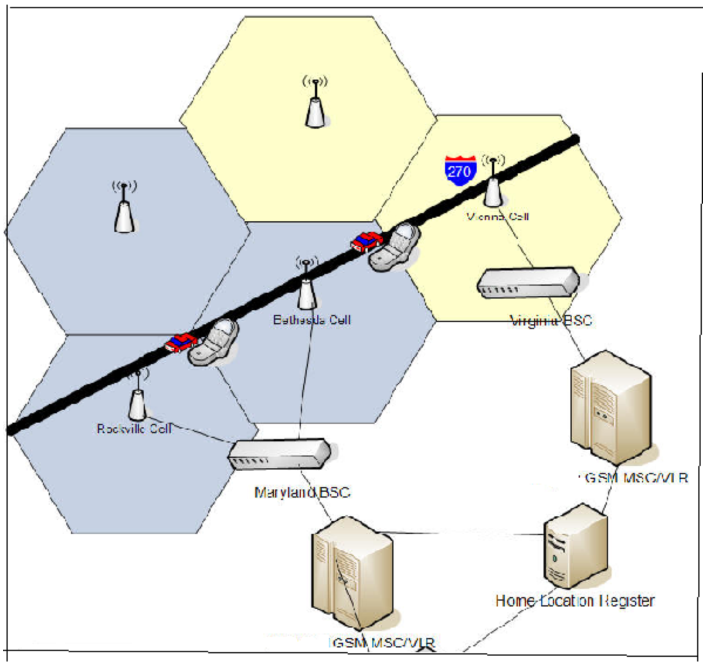
- منطقةِ خدمة كاملة التي فيها المشتركون يُمْكِنُ أَنْ يَتمكّنوا من الدخول إلى شبكةِ GSM شكل(١- ٢٨).
- يتم من خلالها التجوال الدولي حيث تتحرك محطة المتنقلات من شبكة متنقلات أرضية عامة إلى أخري.

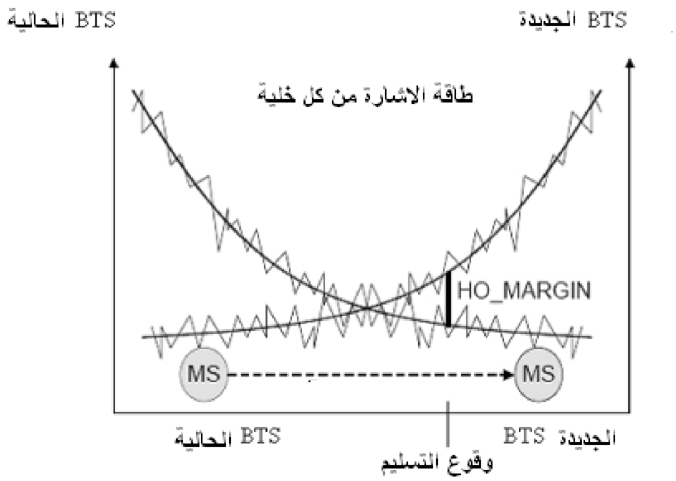


الشكل(١- ٢٨) يوضح منطقة خدمة **GSM**

١- ٣- ٨ المناولة بين الخلايا Handover

التجوال بين الخلايا أثناء المكالمة يتطلب من الشبكة أن تقوم بعملية المناولة أي أن تسلم الخلية الحالية للخلية التالية للتحكم في مكالمة المشترك. ويتم ذلك بالقياس المتتابع لطاقة الإشارة المستقبلة من الخلية الحالية والخلايا المجاورة فعند تجاوز طاقة الخلية المجاورة في المكان المتواجدة فيه المحطة المتنقلة طاقة الخلية الحالية فإن هذه تطلب من الشبكة تسليم المشترك للخلية المجاورة ذات الطاقة الأعلى لاقتراب المشترك منها. وبذلك يعطى للمشترك قناة جديدة من قنوات الخلية الجديدة لاتمام المكالمة عليها دون أن يشعر المشترك بذلك أو أن يحدث تقطع يذكر.





MS= المحطة المتنقلة

١-٤ المجالات الترددية المستخدمة في نظام GSM

الجدول التالي يوضح المجالات الترددية لنظام GSM ومواصفات كل نظام:

م	اسم النظام	المواصفات
١	P-GSM 900	أعلى الوصلة uplink: 890-915MHZ من MS إلى BS أسفل الوصلةِ downlink: 935-960MHZ من BS إلى MS
		الطول الموجي $\lambda \cong 33$ cm
		عرض النطاق الترددي BW=2×25MHz
		المسافة المزدوجة Duplex distance=45MHz
		العرض الترددي للقناة Channel band width=200KHz
		معدل الإرسال Transmission rate = 270.8 Kbps
		عدد القنوات no. Of channels = 124
٢	E-GSM 900	أعلى الوصلة uplink: 880-915MHZ من MS إلى BS أسفل الوصلةِ downlink: 925-960MHZ من BS إلى MS
		الطول الموجي $\lambda \cong 33$ cm
		عرض النطاق الترددي BW=2×35MHz
		المسافة المزدوجة Duplex distance=45MHz
		العرض الترددي للقناة Channel band width=200KHz
		معدل الإرسال Transmission rate = 270 Kbps
		عدد القنوات no. Of channels = 175
٣	GSM 1800	أعلى الوصلة uplink 1710-1785MHZ من MS إلى BS أسفل الوصلةِ downlink: 1805-1880MHZ من BS إلى MS
		الطول الموجي $\lambda \cong 17$ cm
		عرض النطاق الترددي BW=2×75 MHz
		المسافة المزدوجة Duplex distance=95MHz

		العرض الترددي للقناة Channel band width=200KHz
		معدل الإرسال Transmission rate = 270 Kbps
		عدد القنوات no. Of channels = 373
٤	GSM 1900	أعلى الوصلة uplink 1850-1910MHZ من MS إلى BS أسفل الوصلةِ downlink :1930-1990MHZ من BS إلى MS
		الطول الموجي $\lambda \cong 16$ cm
		عرض النطاق الترددي BW=2×60 MHz
		المسافة المزدوجة Duplex distance=80MHz
		العرض الترددي للقناة Channel band width=200KHz
		معدل الإرسال Transmission rate = 270 Kbps
		عدد القنوات no. Of channels = 300

تدريبات على الوحدة الأولى

١. اذكر الفرق بين المنطقة المغطاة والخلية.

٢. اشرح لماذا تستخدم الخلية السداسية ولا تستخدم الخلية الدائرية.

٣. اشرح مفهوم إعادة استخدام التردد.

٤. تخير الإجابة الصحيحة مما يلي:

- نوع الاتصالفي نظام الهاتف المحمول هو:

ا- Half Duplex ب- Full Duplex ج- Simplex

- الجيل الثاني من نظم الهاتف المحمول يستخدم تقنية:

ا- FDMA ب- TDMA ج- FDMA and TDMA

- من ميزات الجيل الثالث من الهاتف المحمول:

ا- سرعة الإرسال ب- قدرة عالية ج- سعة كبيرة د- سعة صغيرة

- النظام الخلوي يقوم على :

ا- تقسيم المكان ب- تقسيم الزمان ج- تقسيم التردد

- من أهم ميزات النظام الخلوي :

ا- قدرة عالية ب- سعة منخفضة ج- إعادة استخدام التردد

- نظام GSM هو نظام:

ا- تماثلي خليوي ب- خليوي رقمي ج- رقمي غير خليوي

- في نظام P-GSM 900 عدد القنوات الترددية هو:

ا- 373 ب- 124 ج- 175 د- 300

- في نظام P-GSM 900 نطاق التردد من المحطة المتنقلة (uplink) هو:

ا- 935-960MHz ب- 880-915MHz ج- 890-915MHz

- في نظام GSM 1900 عدد القنوات الترددية هو:

ا- 124 ب- 373 ج- 300 د- 175

- في نظام خليوي بخلايا سداسية المسافة المطلوبة بين خليتين في مجموعتين متجاورتين (D) حتى يمكن إعادة استخدام التردد إذا كان عدد الخلايا في كل مجموعة (K) = 7 و نصف قطر الخلية (R = 600m) هي:

ا- 2454.5m ب- 1520.3m ج- 5956 m د- 2749.5m

- في نظام GSM الوحدة المسؤولة عن الإرسال والاستقبال اللاسلكي هي :

ا- MSC ب- VLR ج- EIR د- BSS

- في نظام GSM الوحدة المسؤولة عن توصيل الطالب بالمطلوب هي :

ا- MSC ب- HLR ج- BSS د- AUC

- في نظام GSM الوحدة المسؤولة عن التحكم والصيانة لجميع أجزاء الشبكة هي :

ا- MSC ب- OMC ج- BSS د- AUC

- في نظام GSM الوحدة المسؤولة عن تسجيل معلومات الزائر هي :

ا- MSC ب- VLR ج- BSS د- AUC

- التعديل Modulation المستخدم في نظام GSM هو:

ا- FSK ب- MSK ج- GMSK د- ASK

- باستخدام تقنية TDMA في نظام GSM يمكن استخدام نفس التردد لعدد:

ا- ٦ مشتركين ب- ٨ مشتركين ج- ١٠ مشتركين د- ١٢ مشترك

- في نظام P-GSM 900 يمكن في نفس الوقت وفي نفس الخلية خدمة عدد:

ا- ٦٠٠ مشترك ب- ١٠٢٤ مشترك ج- ٤٠ مشترك د- ٩٩٢ مشترك

٥. نظام GSM هو النظام:

- O الجيل الأول من الاتصالات المتنقلة
- O الجيل الثالث من الاتصالات المتنقلة
- O الجيل الثاني من الاتصالات المتنقلة
- O الجيل الحديث من الاتصالات المتنقلة التماثلية

٦. في اتصال GSM المكالمة:

- O تقفز لاسلكياً من برج إلى برج حتى تصل الجوال المطلوب
- O تمر لاسلكياً من جوال إلى جوال
- O تمر من الجوال لاسلكياً إلى البرج ثم تكمل سلكياً حتى برج الجوال المطلوب
- O تمر لاسلكياً من جوال إلى جوال حتى تصل الجوال المطلوب

٧. في شبكة الجوالGSM

- O كل BS (برج) يستعمل جميع ترددات نظام
- O كل BS (برج) يستعمل ترددات يشترك فيها مع البرج المجاور
- O كل BS (برج) يستعمل ترددات تختلف عن الأبراج المجاورة

- O كل BS (برج) يستعمل تردداً واحداً ثابتاً

٨. الدخول المتعدد إلى شبكة GSM يتم بواسطة

- O التقسيم الزمني
- O التقسيم الترددي
- O التقسيم الترددي والزمني
- O التقسيم الرمزي

٩. التجوال من خلية إلى أخرى تابعة لنفس BSC يتم

- O تلقائيا من طرف الجوال (المحطة المتنقلة) دون الشبكة
- O بتفاهم الأبراج BS فيما بينها دون BSC
- O بأمر من BSC
- O حسب هوية الجوال العالمية IMEI

١٠. عندما يكون جهاز الجوال مفتوحا ولا يجري مكالمة فإنه

- O يتصل بالشبكة في فترات زمنية محددة
- O لا يتصل بالشبكة
- O يستقبل ولا يرسل
- O يرسل ولا يستقبل

الاتصالات المتنقلة

معطيات الاتصالات اللاسلكية

الوحدة الثانية : معطيات الاتصالات اللاسلكية

الجدارة: التدريب على معطيات الاتصالات اللاسلكية.

الأهداف: تهدف هذه الوحدة إلى:

١. تبسيط مفهوم الواجهة اللاسلكية في شبكة أنظمة الاتصالات المتنقلة.
٢. توضيح مفهوم الترميز والتشفير والتعديل في الاتصالات المتنقلة.
٣. تبسيط مفهوم الانتشار وما يتبعه من مشاكل وحلول في أنظمة الاتصالات المتنقلة GSM.
٤. التمييز بين مختلف أنواع العناصر المركبة للواجهة اللاسلكية.
٥. التمييز بين مختلف أنواع التشفير والترميز المستعملة في نظام GSM.
٧. الحكم على جودة نظام الاتصالات المتنقلة حسب معايير محددة لواجهة اللاسلكية ..

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب بإذن الله إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٩ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج MS WORD or POWER POINT لعرض المحاضرات على جهاز عرض البيانات.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب ملماً بأساسيات الاتصالات التماثلية والرقمية.

٢- ١- أساسيات الاتصالات اللاسلكية

٢- ١- ١ التردد Frequency

التردد هو عدد تكرار الموجة الكهرومغناطيسية في ثانية واحدة ويرمز له برمز f . و الوحدة المستخدمة في قياس التردد هي الهرتز Hertz و يرمز له برمز Hz . ويرتبط بالتردد مقدار طول الموجة wavelength و يرمز له برمز λ و كذلك سرعة الضوء speed of light ويرمز لها برمز c و هي تساوي $3x10^8$ m/s في الفراغ . وترتبط جميع القيم السابقة بالعلاقة التالية:

$$f = c/\lambda$$

٢- ١- ٢ الطيف الترددي Frequency spectrum

الطيف الترددي frequency spectrum للموجات الراديوية radio waves المستخدمة في تراسل المعلومات لاسلكياً يمتد في مجال التردد من 300 Hz إلى 300 THz . و يوضح الجدول (٢- ١) ملخصاً للطيف الترددي للموجات الراديوية و يشمل الجدول النطاق الترددي و طول الموجة و الحزمة الترددية و بعض الاستخدامات في مجال الاتصالات اللاسلكية

النطاق الترددي	طول الموجة	الحزمة الترددية	بعض الاستخدامات
0.3 – 30KHz	1Mm – 10Km	VLF	التلغراف و الملاحة
30 – 300KHz	10Km – 1Km	LF	اتصالات الغواصات و إذاعات الراديو LW
0.3 – 3MHz	1Km – 100m	MF	إذاعات الراديو MW
3 – 30MHz	100m – 10m	HF	إذاعات الراديو SW و FM
30 – 300MHz	10m – 1m	VHF	التلفزيون VHF
0.3 – 3GHz	1m – 10cm	UHF	التلفزيون UHF و الهواتف المحمولة
3 – 30GHz	10cm – 1cm	SHF	أنظمة الميكروويف و الأقمار الصناعية
30 – 300GHz	1cm – 1mm	EHF	للاستعمال المستقبلي

الجدول (٢- ١) ملخص للطيف الترددي للموجات الراديوية

٢- ١- ٣ عرض النطاق الترددي Band Width

النطاق الترددي Frequency band هو المجال الترددي المخصص لنظام معين من أنظمة الاتصالات و له حد ترددي أدنى وحد ترددي أعلى ومن المفترض أن يلتزم نظام الاتصالات المحدد له النطاق الترددي بإستخدام الترددات الواقعة ضمن النطاق و عدم تجاوز حدود النطاق المخصص. و يعرف عرض النطاق الترددي Band width و يرمز له ب vl.BW بأنه الفرق بين أعلى تردد و أقل تردد في النطاق.

وفي الإرسال التماثلي يعرف عرض النطاق لقناة ترددية بأنه المجال الترددي الذي لا تقل خلاله القدرة للموجة الراديوية عن حدود مقبولة لا تؤثر في جودة الإشارة المستقبلة (50% مثلاً من أعلى قيمة لها) و وحدته هي Hertz . و في الإرسال الرقمي يعرف عرض النطاق بعدد المعلومات الرقمية الثنائية bits المرسلة في الثانية الواحدة و تكون وحدته في هذه الحالة bit/sec. و يبين الجدول (٢- ٢) أمثلة للنطاقات الترددية لبعض نظم الاتصالات اللاسلكية المحمولة المستخدمة في أوروبا و الولايات المتحدة الأمريكية و اليابان.

٢ - ١- ٤ القنوات Channels

يمكن تقسيم مجال ترددي معين إلى عدد من القنوات الترددية channels و تستخدم كل قناة كوصلة إتصال يتم عبرها إرسال واستقبال المعلومات بحيث يتم تعيين قيمة ترددية و عرض نطاق ترددي محدد لكل قناة و يراعى تحديد فاصل ترددي كافٍ بين القنوات المتقاربة تفاديا للتداخل.

٢- ١- ٥ سرعة الإرسال

تنتشر الموجات الراديوية في الفراغ بسرعة الضوء وهي $c = 3x10^8$ m/s . و تختلف سرعة الإرسال (v) مع اختلاف الوسط الذي تنتشر فيه الموجات حسب العلاقة التالية:

$$v = c / \sqrt{\varepsilon_r}$$

حيث ε_r هي قيمة السماحية النسبية relative permittivity لوسط الإرسال. ومن المعتاد اعتبار $\varepsilon_r = 1$ للهواء و اعتبار سرعة الإرسال في الهواء مساوية لسرعة الضوء في الفراغ و هي $3x10^8$ m/s.

	أوروبا	الولايات المتحدة الأمريكية	اليابان
نظم الهواتف المحمولة Mobile phones	NMT 452-457 MHz 462-467 MHz GSM 890-915 MHz 935-960 MHz 1710-1785 MHz 1805-1880 MHz	AMPS, TDMA, CDMA 824-849 MHz 869-894 MHz GSM, TDMA, CDMA 1850-1910 MHz 1930-1990 MHz	PDC 810-820 MHz 940-956 MHz 1429-1465 MHz 1477-1513 MHz
نظم الهواتف اللاسلكية Cordless telephones	CT1+ 885-887 MHz 930-932 MHz CT2 864-868 MHz DECT 1880-1900 MHz	PACS 1850-1910 MHz 1930-1990 MHz PACS-UB 1919-1930MHz	PHS 1895-1918 MHz JCT 254-380 MHz

الجدول (٢- ٢) أمثلة للنطاقات الترددية لبعض نظم الاتصالات اللاسلكية المحمولة.

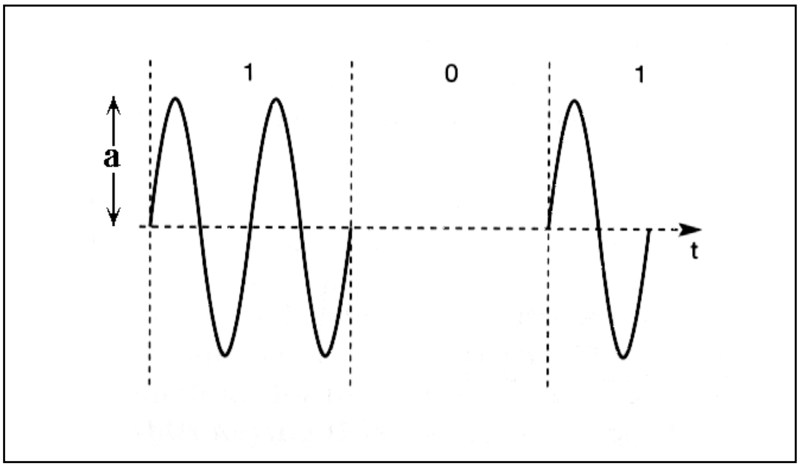
٢- ٢ طرق التعديل الرقمي Digital modulation

تتم عملية التعديل الرقمي digital modulation لإشارة المعلومات الرقمية بتعديل واحد من ثلاثة قيم و هي الاتساع amplitude و التردد frequency و زاوية الطور phase. و في الأنظمة الرقمية يتم تحويل المعلومات الرقمية الثنائية bits (0 and 1) إلى إشارات تماثلية ليتم إرسالها تماثلياً كما يحدث عند إرسال المعلومات الرقمية (كمعلومات الحاسب الآلي) عبر خط هاتفي باستخدام جهاز المودم modem. فيقوم المودم بتحويل المعلومات الرقمية إلى إشارات تماثلية في الطرف المرسل و يقوم بالعكس في الطرف المستقبل.

أما في الإرسال الرقمي السلكي كما في حالة الشبكات المحلية السلكية wired local area networks فإن المعلومات الرقمية ترسل في حالتها الرقمية بدون تعديل عبر الأسلاك لمسافات محدودة و يمكن ستخدام المقويات repeaters لتقوية الإشارة عندما تضعف بسبب طول المسافة . وفي الشبكات اللاسلكية wireless networks لا يمكن إرسال المعلومات إرسالاً رقمياً لذا فلا بد من تحويلها إلى إشارات تماثلية باستخدام إحدى طرق التعديل الرقمي الأساسية الثلاثة التالية :

- **تعديل الإزاحة الاتساعي** Amplitude shift keying (ASK)

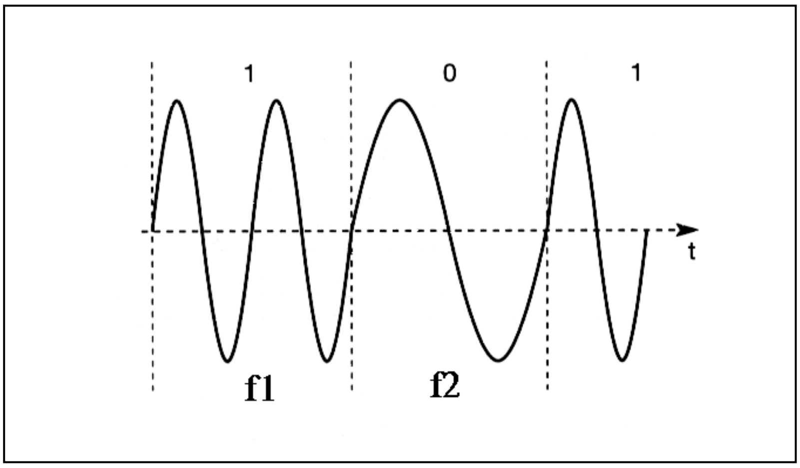
يوضح الشكل(٢- ١) مثالاً لطريقة تعديل الإزاحة السعوي ASK وهو أبسط طرق التعديل الرقمي حيث يتم تمثيل المعلومات الرقمية الثنائية 0 و 1 بسعتين مختلفتين. وكما في المثال فقد تم تمثيل حالة 0 بسعة تساوي صفراً و تم تمثيل حالة 1 بسعة تساوي a. ولهذا النوع من التعديل بعض العيوب لحساسيته لأخطاء الإرسال كالتداخلات interference و الضوضاء noise و تشتت الإشارة بتعدد المسارات multi-path propagation لذا فإنه لا يمكن ضمان صحة الإشارة في حالة الإرسال اللاسلكي بوجود مثل هذه الأخطاء.



الشكل (٢- ١) مثال لطريقة تعديل الإزاحة السعوي ASK

- **تعديل الإزاحة الترددي** (FSK) Frequency shift keying

يوضح الشكل (٢- ٢) مثالاً لطريقة تعديل الإزاحة الترددي FSK وهو من طرق التعديل الرقمي المستخدمة بكثرة. وفي هذه الطريقة يتم تمثيل المعلومات الرقمية الثنائية 0 و 1 بإشارة ثابتة السعة ويتم تغيير التردد لكل حالة . وكما في المثال فقد تم تمثيل حالة ال 1 بتردد f1 وحالة ال 0 بتردد f2 . وهذا النوع من التعديل أقل حساسية لأخطاء الإرسال من النوع السابق.



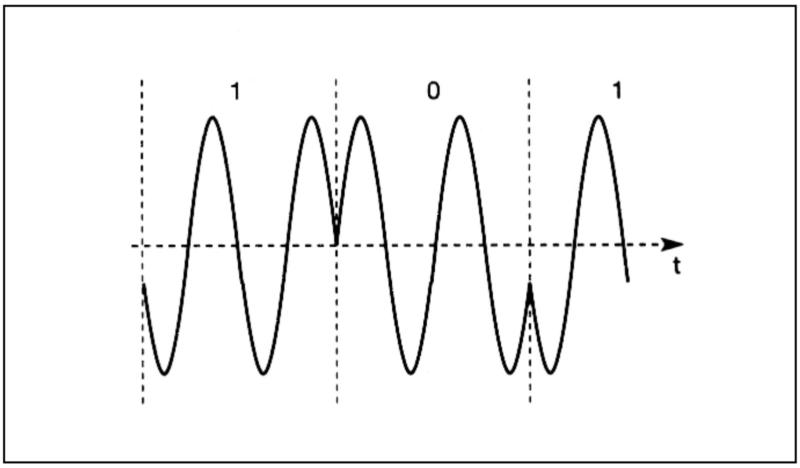
الشكل (٢- ٢) مثال لطريقة تعديل الإزاحة الترددي FSK

- **تعديل الإزاحة الزاوي** (PSK) Phase shift keying

يوضح الشكل (٢- ٣) مثالاً لطريقة تعديل الإزاحة الزاوي PSK وفي هذا النوع من التعديل يحدث تغيير في زاوية الطور بمقدار 180^o عند كل تغيير للمعلومة الرقمية من 0 إلى 1 أو العكس مع تثبيت السعة و التردد. وهذا النوع من التعديل أقل حساسية لأخطاء الإرسال مقارنة بالنوعين السابقين ولكن دوائر الإرسال و الاستقبال فيه أكثر تعقيداً.

ومن طرق التعديل المتبعة في نظم الاتصالات اللاسلكية الحديثة طريقة تعديل الإزاحة الدنيا (MSK) Minimum shift keying و هي طريقة مطورة تجمع بين تعديل الإزاحة الترددي FSK و تعديل الإزاحة الزاوي PSK مع التقليل من التغيير المفاجئ للتردد والشكل (٢- ٤) يوضح طريقة تعديل الإزاحة الدنيا حيث تفصل المعلومات الرقمية إلى معلومات زوجية even bits و معلومات فردية odd bits

ويتم مضاعفة الفترة الزمنية لكل معلومة رقمية. و تستخدم قيمتين ترددتين هما: التردد المنخفض f_1 و التردد العالي f_2 و عادة ما تكون $f_2 = 2\ f_1$.

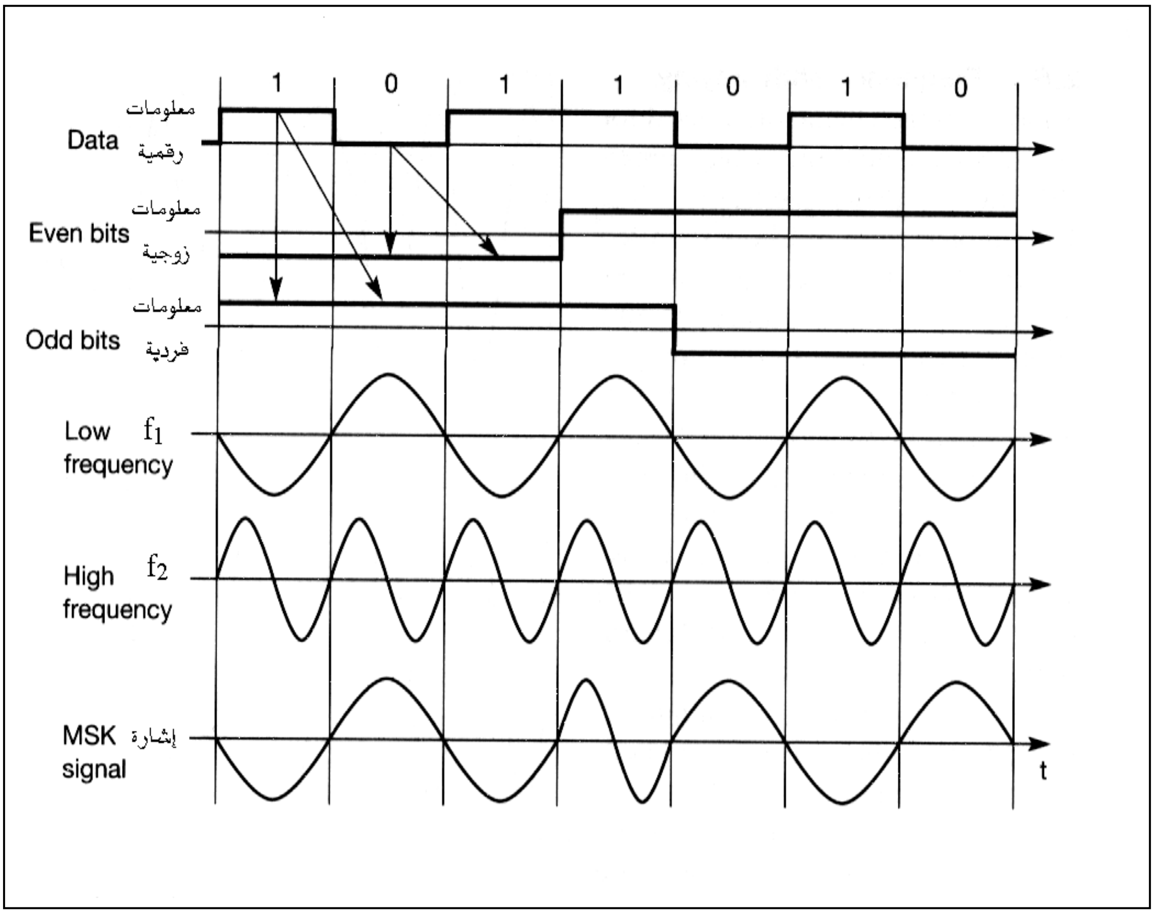


الشكل (٢- ٣) مثال لطريقة تعديل الإزاحة الزاوي PSK

و يتم اختيار إحدى الترددين حسب ما يلي :

- إذا كان كل من المعلومة الزوجية والفردية في حالة 0 يتم استخدام التردد العالي f_2 مع عكس الموجة (تغيير في زاوية الطور بمقدار 180^o)
- إذا كانت المعلومة الزوجية في حالة 1 والمعلومة الفردية في حالة 0 يتم استخدام التردد المنخفض f_1 مع عكس الموجة (تغيير في زاوية الطور بمقدار 180^o)
- إذا كانت المعلومة الزوجية في حالة 0 و المعلومة الفردية في حالة 1 يتم استخدام التردد المنخفض f_1 دون تغيير زاوية الطور
- إذا كان كل من المعلومة الزوجية والفردية في حالة 1 يتم استخدام التردد العالي f_2 دون تغيير زاوية الطور

و بإضافة مرشح إمرار منخفض جاوسي Gaussian low-pass filter إلى معدل الإزاحة الدنيا نحصل على ما يسمى بمعدل الإزاحة الدنيا الجاوسي Gaussian minimum shift keying (GMSK) و هو المعدل المستخدم في أنظمة الاتصالات اللاسلكية الأوروبية المحمولة مثل نظام GSM للهاتف الخلوي ونظام DECT للهواتف اللاسلكية.



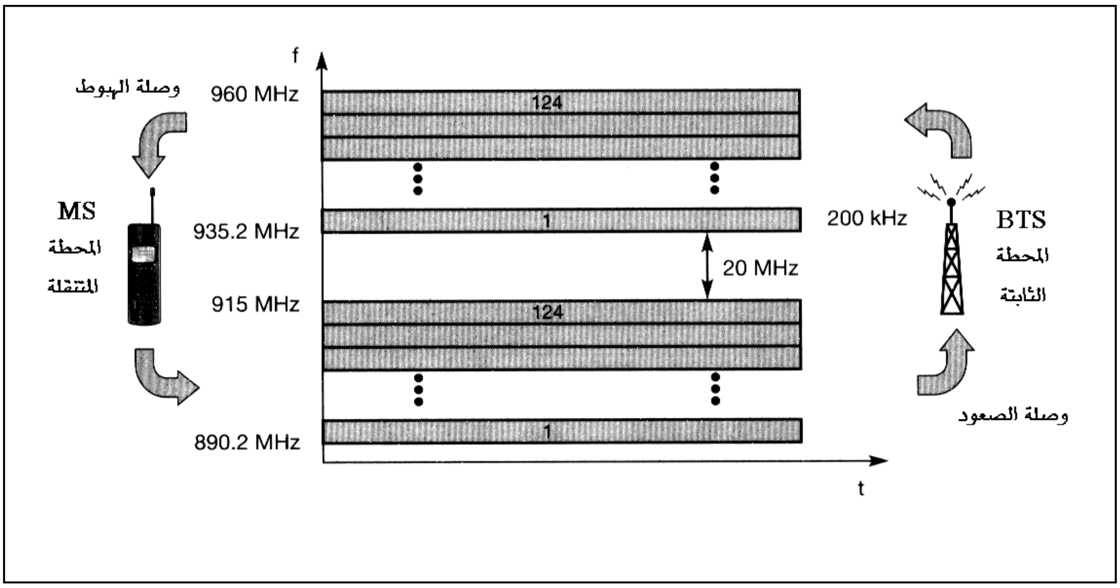
الشكل(٢- ٤) مثال لطريقة تعديل الإزاحة الدنيا MSK

٢- ٣ المسالك المستخدمة - التقسيم الزمني المتعدد المسالك TDMA

تستخدم أنظمة الاتصالات الرقمية اللاسلكية الحديثة عدة مسالك لاستغلال الإمكانيات المتوفرة لتوفير المجال لأكبر عدد من المستخدمين. ومن المسالك المستخدمة مسلك التقسيم الترددي المتعدد المسالك frequency division multiple access (FDMA) حيث يقسم المجال الترددي إلى قنوات ترددية متعددة ويعطى كل مستخدم قناة ترددية معينة وهذا النوع المستخدم في مجال الاتصالات اللاسلكية التماثلية حيث يكون التعامل في مجال التردد frequency domain .

الشكل (٢- ٥) يوضح مثالاً للتقسيم الترددي متعدد المسالك في نظام GSM. حيث تم تقسيم النطاق الترددي إلى جزأين الأول هو النطاق من 890MHZ إلى 915MHZ و خصص هذا الجزء لوصلة

الصعود uplink من المحطة المتنقلة mobile station (MS) إلى المحطة الثابتة base transceiver station (BTS) . و الجزء الثاني وهو النطاق الترددي من 935MHz إلى 960MHz و خصص لوصلة الهبوط downlink من المحطة الثابتة إلى المحطة المتنقلة وبفاصل ترددي 20MHZ بين الجزأين . كما تم تقسيم كل من النطاقين إلى 124 قناة ترددية توزع على المستخدمين بعرض 200KHz لكل قناة.

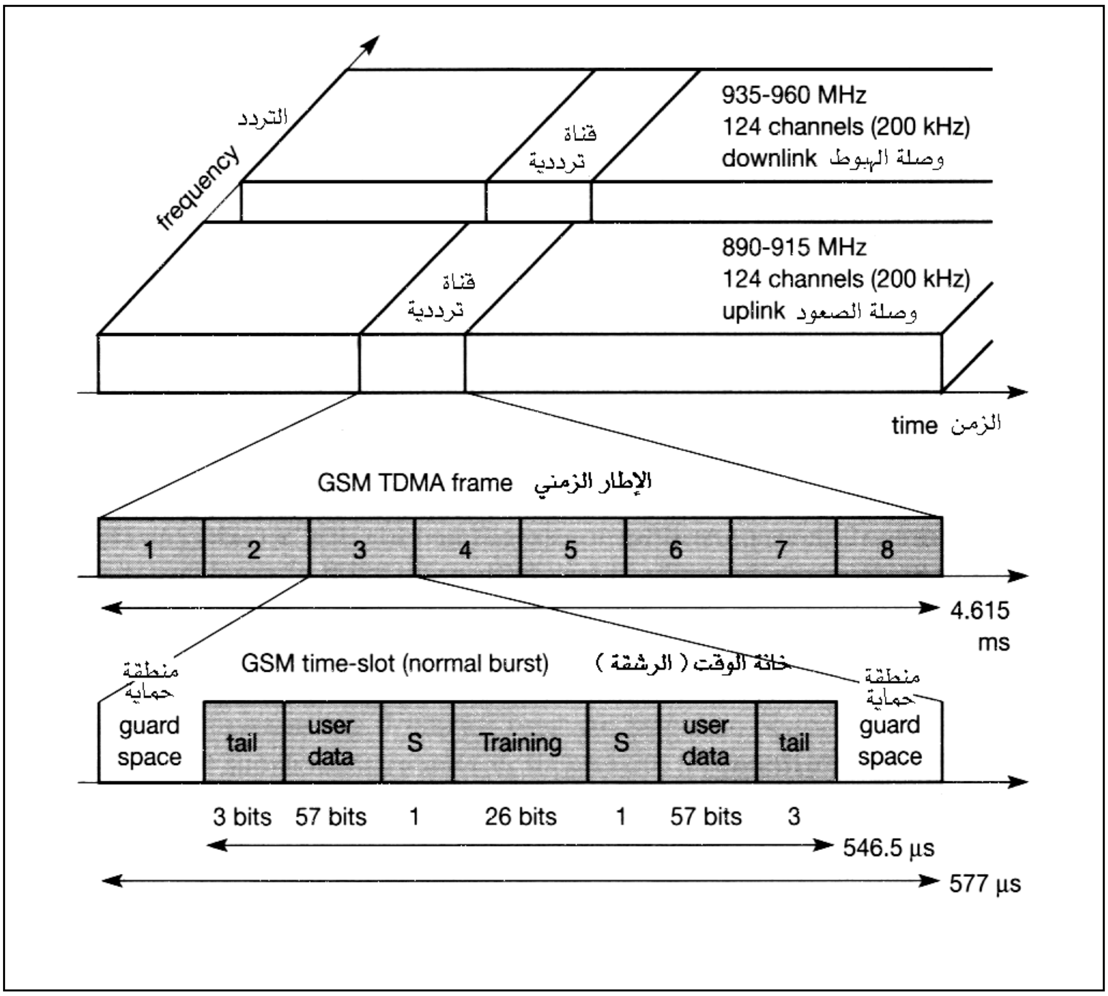


الشكل (٢- ٥) مثال للتقسيم الترددي المتعدد المسالك FDMA في نظام GSM

وفي أنظمة الاتصالات اللاسلكية الرقمية حيث يكون التعامل في مجال الزمن time domain فبالإضافة إلى المسلك السابق يستخدم مسلك التقسيم الزمني متعدد المسالك time division multiple access (TDMA) والذي يتم فيه تقسيم الزمن إلى خانات توزع بين معلومات المستخدمين و معلومات التزامن والتحكم مما يتيح المجال لعدد من المستخدمين الاشتراك في قناة ترددية معينة دون حدوث تداخلات. وهذا المسلك هو الأهم والأكثر استخداماً في الاتصالات الرقمية نظراً للسرعة الكبيرة للأجهزة الرقمية الحديثة وتوفر الكثير من الزمن الذي من الممكن استغلاله.

الشكل (٢- ٦) يوضح مثالاً لاستخدام التقسيم الزمني متعدد المسالك TDMA بالإضافة إلى التقسيم الترددي متعدد المسالك FDMA في نظام GSM حيث حدد الإطار الزمني time frame لقناة ترددية معينة بعرض 4.615ms و تم تقسيمه إلى 8 خانات وقت time slot بعرض 577µs لكل

خانة وقت . وتستخدم خانات الوقت هذه لنقل معلومات المستخدمين كما تخصص أجزاء منها لأغراض التزامن و التحكم.

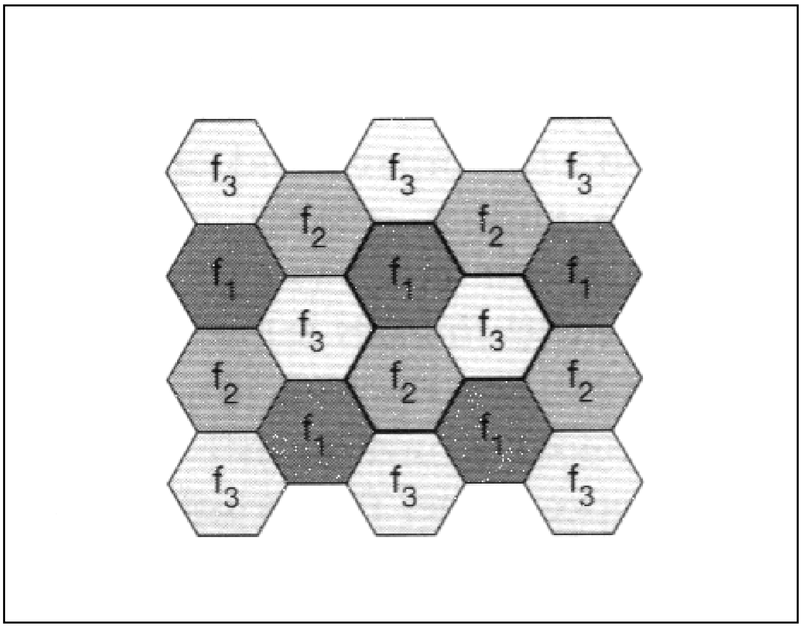


الشكل (٢- ٦) مثال للتقسيم الزمني المتعدد المسالك TDMA في نظام GSM

وتحوي خانة الوقت منطقتي حماية guard space في بداية الخانة ونهايتها لمنع التداخل عند حدوث تأخير بسبب أخطاء الإرسال و معلومات رقمية ثنائية بعدد 148bit و بعرض 545.5µs و تسمى الرشقة burst تستخدم منها 114bit لنقل معلومات المستخدم وزعت على جزأين كل منهما بسعة 57bit. و تستخدم أنظمة الهاتف الخلوي الرقمي digital cellular phones الحديثة كنظام GSM

المسلكين السابقين بالإضافة إلى مسلك التقسيم المكاني المتعدد المسالك space division multiple access (SDMA) والذي يقسم فيه المكان إلى خلايا cells كل خلية تخدم مساحة محدودة.

ويوضح الشكل (٢- ٧) مثالاً للتقسيم المكاني المتعدد المسالك SDMA بنظام خلايا سداسية و قد تم توزيع نطاقات الترددات الثلاثة f_1 , f_2 , f_3 على الخلايا بطريقة تضمن عدم استخدام أي خليتين متجاورتين لنفس نطاق التردد وذلك لمنع التداخل و إعادة استخدام نطاقات التردد الثلاثة في الخلايا غير المتجاورة. وفي نظام GSM يتم توزيع نطاقات التردد و التي يبلغ عددها 124 على الخلايا بأسلوب يحقق الاستفادة المثلى من إعادة استخدام نطاقات التردد وعدم تكرارها في الخلايا المتقاربة لضمان عدم التداخل بين المستخدمين في الخلايا المتقاربة أو التداخل بين المستخدمين لنفس النطاق الترددي.



الشكل (٢- ٧) مثال للتقسيم المكاني المتعدد المسالك SDMA

و من المسالك المستخدمة كذلك في بعض أنظمة الاتصالات اللاسلكية الرقمية الحديثة مسلك التقسيم التشفيري المتعدد المسالك code division multiple access (CDMA) وهذا المسلك يستخدم في أنظمة الجيل الثالث G3 للإتصالات المحمولة و يتم فيه تشفير معلومات المستخدمين بشفرات مختلفة لمنع التداخلات عند استخدام عدد من المستخدمين نفس النطاق الترددي و يوفر هذا

المسلك سعة كبيرة لخدمة عدد كبير من المشتركين و نقل سريع للمعلومات و خصوصية للحفاظ على سرية المعلومات.

٢- ٤ الإرسال التماثلي و الرقمي

في الاتصالات اللاسلكية وفي حالة الإرسال التماثلي يتم تحميل المعلومات التماثلية على إشارة حاملة carrier signal بتردد معين و باستخدام إحدى طرق التعديل التماثلي analog modulation للمعلومات التماثلية وهي التعديل الاتساعي amplitude modulation (AM) أو التعديل الترددي frequency modulation (FM) وترسل لاسلكياً كما هو الحال في الإرسال الإذاعي .

و في حالة الإرسال التماثلي لمعلومات رقمية تستخدم إحدى طرق التعديل الرقمي digital modulation وهي التعديل الإزاحي السعوي ASK أو التعديل الإزاحي الترددي FSK أو التعديل الإزاحي الزاوي PSK أو طريقة التعديل الإزاحي الدنيا MSK والتي تم شرحها سابقاً حيث يتم تحويل المعلومات الرقمية إلى إشارة معلومات تماثلية analog base-band signal. ثم يتم التعديل التماثلي analog modulation حيث يتم تحميل إشارة المعلومات على إشارة حاملة بتردد معين radio signal carrier ثم ترسل لاسلكياً. وفي جهة الاستقبال تتم الخطوات العكسية لإرجاع المعلومات إلى صورتها الرقمية. و يوضح الشكل (٢- ٨) خطوات الإرسال والاستقبال اللاسلكي لمعلومات رقمية باستخدام الإرسال التماثلي.

و في كلتا الحالتين السابقتين يكون المسلك المستخدم هو مسلك التقسيم الترددي المتعدد المسالك FDMA . أما الإرسال الرقمي فمن غير الممكن أن يتم لاسلكياً و يتم فقط عبر الشبكات السلكية المحلية فقط و لمسافات محدودة وفي هذه الحالة ترسل المعلومات في صورتها الرقمية دون حاجة إلى تعديل ومن الممكن تقوية الإشارات باستخدام أجهزة التقوية repeaters للمسافات الطويلة نسبياً.

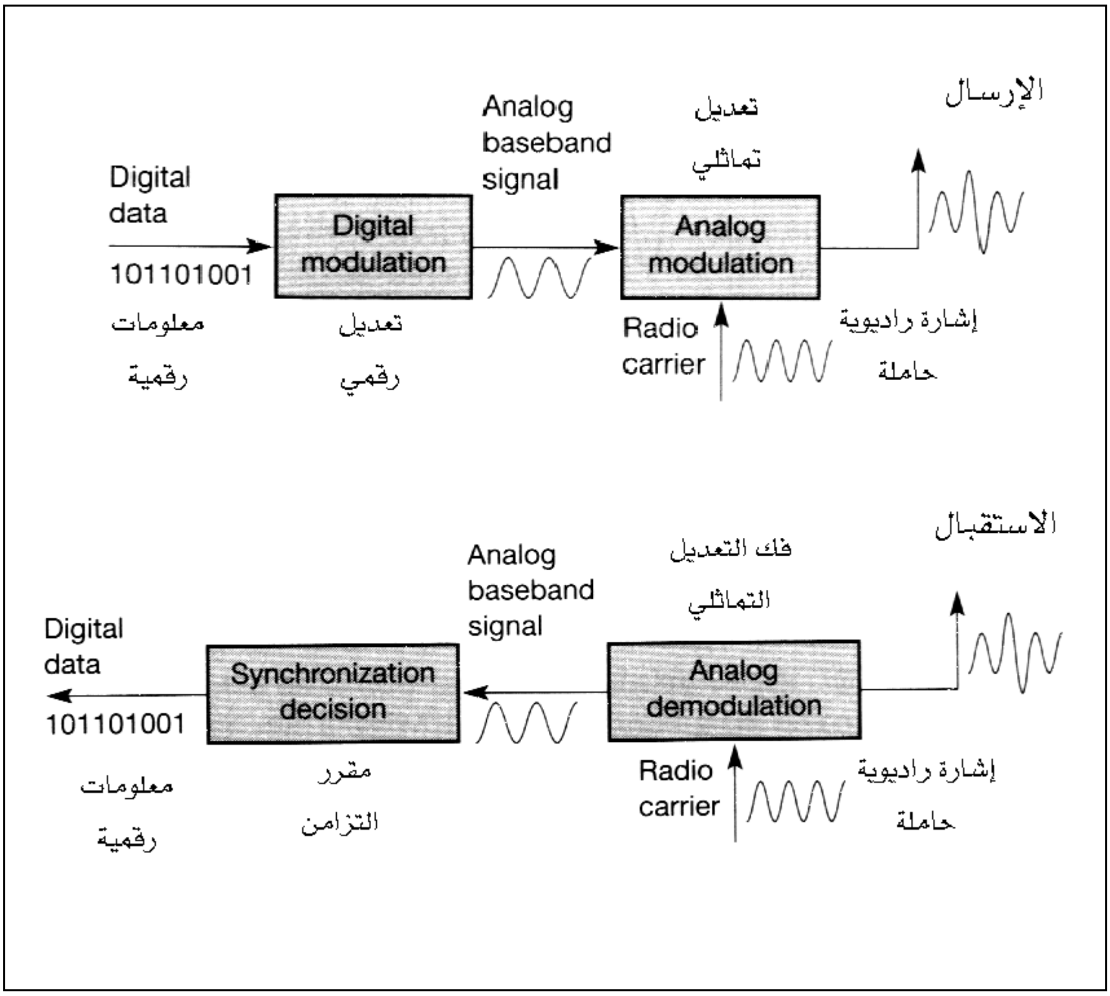
٢- ٥ مشاكل الإرسال

٢- ٥ - ١ الفقدان المساري Path loss

تنتشر الموجات الراديوية كما ينتشر الضوء في الفراغ بخطوط مستقيمة و بسرعة $3x10^8$ m/s ولا تعتمد هذه السرعة على التردد . و عند وجود خط مستقيم و مباشر بين المرسل و المستقبل يسمى خط

الرؤية line of sight (LOS) . وفي عدم وجود عائق فإن قدرة الإشارة المستقبلة P_r تخبو مع ازدياد المسافة d الفاصلة بين المرسل والمستقبل . وتتناسب قدرة الإشارة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بالعلاقة $P_r \alpha 1/d^2$ و تعرف هذه العلاقة بقانون التربيع العكسي inverse square law .

وفي وجود عوائق بين المرسل والمستقبل تصبح الحالة أكثر تعقيداً. و حتى في عدم وجود أي عائق بين المرسل و المستقبل فإن قدرة الإشارة تتأثر ويعتمد الخبو فيها على عوامل أخرى كطول الموجة للإشارة المرسلة و الكسب gain لهوائيات المرسل والمستقبل. و تؤثر كذلك العوامل الجوية كالمطر و نسبة الرطوبة والغبار و الدخان و الضباب و الثلوج في قوة الإشارة تأثيراً سلبياً و يزيد خبوها مع زيادة التردد.

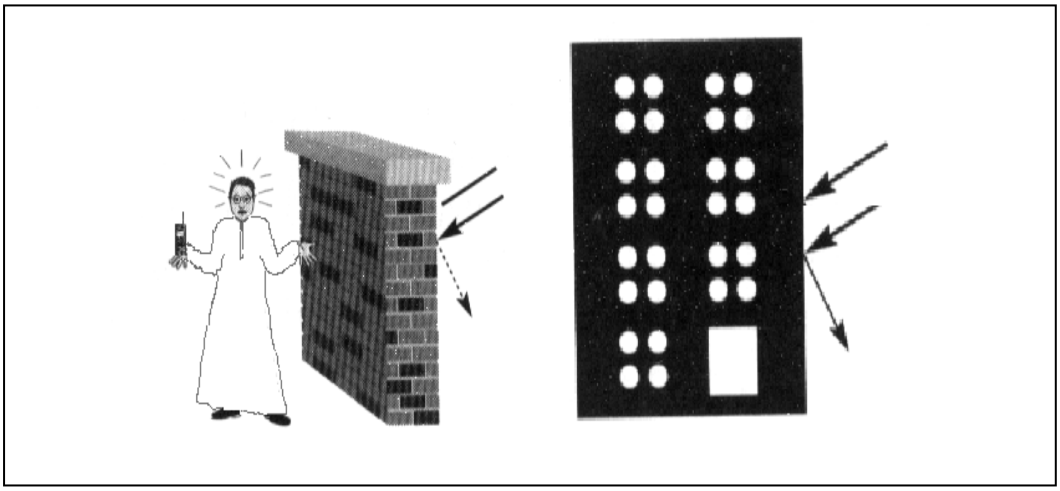


الشكل (٢- ٨) خطوات الإرسال والاستقبال اللاسلكي التماثلي للمعلومات الرقمية.

٢- ٥ - ٢ الحجب والتظليل Blocking and Shadowing

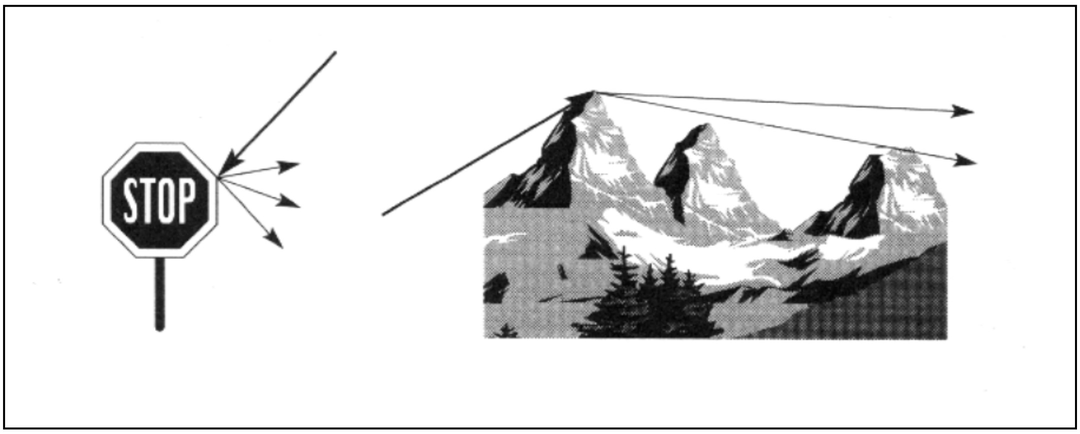
عند اقتراب المحطة المتنقلة MS كثيراً من هوائي محطة قاعدية BTS تابعة لمشغل آخر (شبكة غير التي تنتمي إليها المحطة المتنقلة) و استخدام ترددات قريبة من التردد المخصص للمحطة المتنقلة فإن إرسال المحطة القاعدية يطغى على استقبال المحطة المتنقلة فيحدث انقطاع للاستقبال وهو ما يسمى بالحجب blocking. ويحدث الحجب عادة عندما يكون هوائي المحطة القاعدية على مستوى الأرض أي مقارباً لمستوى ارتفاع المحطة المتنقلة.

وفي وجود عوائق كبيرة (بأبعاد أكبر من طول الموجة) يحدث نوع من الخبو الشديد نتيجة لانعكاس reflection الإشارة اللاسلكية وهو ما يسمى بالتظليل shadowing وهذا النوع من الخبو يعتمد على التردد حيث إن نفاذ الإشارة خلال الأجسام يعتمد على ترددها فكلما زاد تردد الإشارة تقل قوة نفاذها خلال الأجسام حيث تقترب خواص الموجات الراديوية من خواص الضوء. فالإشارات العالية التردد تتأثر بشكل أكبر بالعوائق حتى الصغير منها. فوجود مبنى أو جدار أو شجرة قد يؤدي إلى انقطاع الاستقبال نهائياً من مصدر الإشارة المباشر عند عدم وجود انعكاسات للإشارة من عوائق أخرى (مسارات أخرى) انظر الشكل (٢- ٩) و ذلك كما يحدث في الإشارات العالية التردد المرسلة من الأقمار الصناعية.



الشكل (٢- ٩) الانعكاس reflection والتظليل shadowing

وفي حالة اصطدام الإشارة بعوائق صغيرة الحجم (بأبعاد مقاربة لطول الموجة أو أصغر منها) يحدث تشتت scattering للإشارة حيث تنعكس الإشارة متشتتة في عدة إشارات أقل قدرة و في اتجاهات مختلفة وتتسبب هذه الظاهرة في حدوث الحيود الموجي wave diffraction انظر الشكل (٢- ١٠). والذي يظهر أثره في حدوث أنماط patterns في قوة الإشارة فتختلف قدرة الإشارة المستقبلة حسب موقع المستقبل

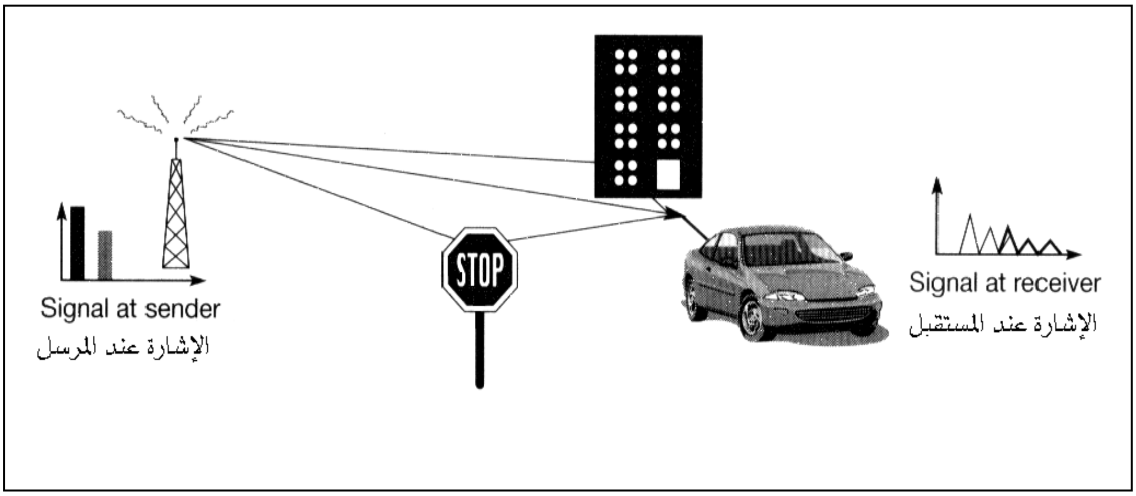


الشكل (٢- ١٠) التشتت scattering و الحيود الموجي wave diffraction

٢- ٥- ٣ تأثر الإشارة بتعدد المسارات Multi-path propagation

حتى في عدم وجود عوائق في المسار المباشر بين المرسل و المستقبل فإن وجود عوائق في المنطقة المحيطة يتسبب في نوع من أصعب مشاكل الإرسال وهو تعدد المسارات multi-path propagation حيث تنعكس الإشارة نتيجة اصطدامها بالعوائق وبذلك تصل إلى المستقبل من عدة مسارات انظر الشكل (٢- ١١) .

وبذلك تصل الإشارة من المسار المباشر أولاً ثم تليها الإشارات المنعكسة متوالية حسب المسافات المختلفة التي تقطعها كل إشارة و يسمى هذا التأثير بالتأخير الممتد delay spread و يقدر بحوالي 3μs في داخل المدن. و يتسبب هذا في وصول أكثر من نسخة من نفس الإشارة وتكون هذه النسخ غير متزامنة وتختلف في قدراتها ونتيجة لذلك يحدث تشويه للإشارة بسبب التداخلات للنسخ العديدة المستقبلة في أوقات مختلفة.



الشكل(٢- ١١) تأثر الإشارة بسبب تعدد المسارات multi-path propagation

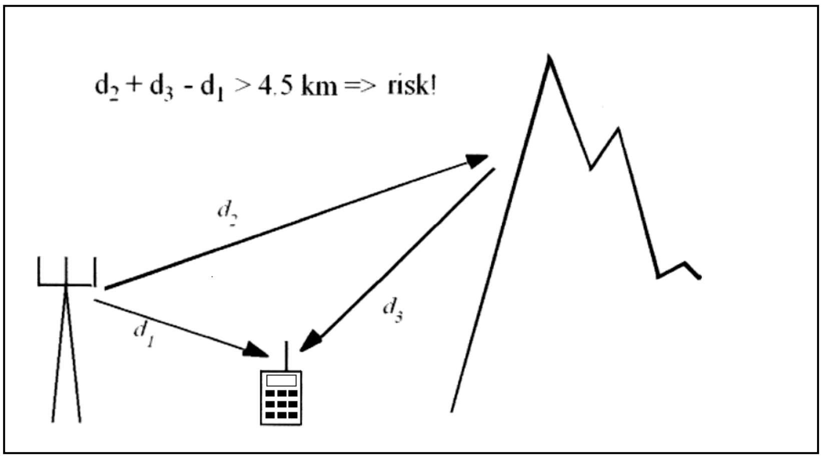
٢- ٥- ٤ التشتت الزمني Time dispersion

من المعروف أن المعلومات الرقمية يجب أن ترسل وتستقبل بترتيب زمني منتظم خاصة عند استخدام مسلك التقسيم الزمني المتعدد المسالك TDMA. و تتسبب ظاهرة تعدد المسارات المذكورة أعلاه في حدوث ما يسمى بالتشتت الزمني time dispersion فتصل عدة نسخ من الإشارة الأصلية متتابعة في أوقات مختلفة.مما يعقد عملية الاستقبال. ولكن إذا كان التأخير محدوداً فمن الممكن معالجة المشكلة بفصل النسخ المتعددة للإشارة و تحسين مستوى الإشارة بالاستفادة من محتويات النسخ المختلفة فيستفيد المستقبل من هذه الظاهرة. و تجدر الإشارة إلى أنه في مناطق العمران من النادر أن يتم استقبال الإشارة مباشرة دون الإنعكاسات . و تستخدم عملية التقويم المتكيف adaptive equalization و التي سيتم شرحها لاحقاً كوسيلة مساعدة لحل هذه المشكلة.

و في نظام GSM وضعت المعايير بحيث إن النظام يمكن أن يتحمل التشتت الزمني في حدود ١٥µs أي ما يعدل مسافة 4.5Km انظر الشكل (٢- ١٢) مما يعني أنه يمكن التعامل مع مجموعة من نسخ الإشارة والتي تستقبل خلال فترة زمنية قدرها ١٥µs باعتبار أن النسخ المتأخرة أكثر من هذه الفترة الزمنية قد قطعت مسافة أكبر من 4.5Km فتكون قدرتها ضعفت بما فيه الكفاية فيتم تجاهلها.

٢- ٥ - ٥ التوافق الزمني Time alignment

حيث إن أنظمة الاتصالات الرقمية يتم التعامل فيها في المجال الزمني time domain خلافاً لأنظمة الاتصالات التماثلية التي يكون فيها التعامل في المجال الترددي frequency domain . و حيث أن المحطة القاعدية BTS تستقبل الإشارات من عدة محطات متنقلة MS في نفس الوقت فإن المحطات المتنقلة البعيدة نسبياً تصل إشارتها متأخرة أكثر من المحطات المتنقلة القريبة وحيث إن كل إشارة يجب أن تصل في خانة الوقت المخصصة لها فقد يتسبب التأخير في عدم التوافق الزمني. و لعلاج هذه المشكلة فقد تم استخدام ما يسمى بعملية الاستباق الزمني timing advance والتي سوف يتم شرحها لاحقاً.



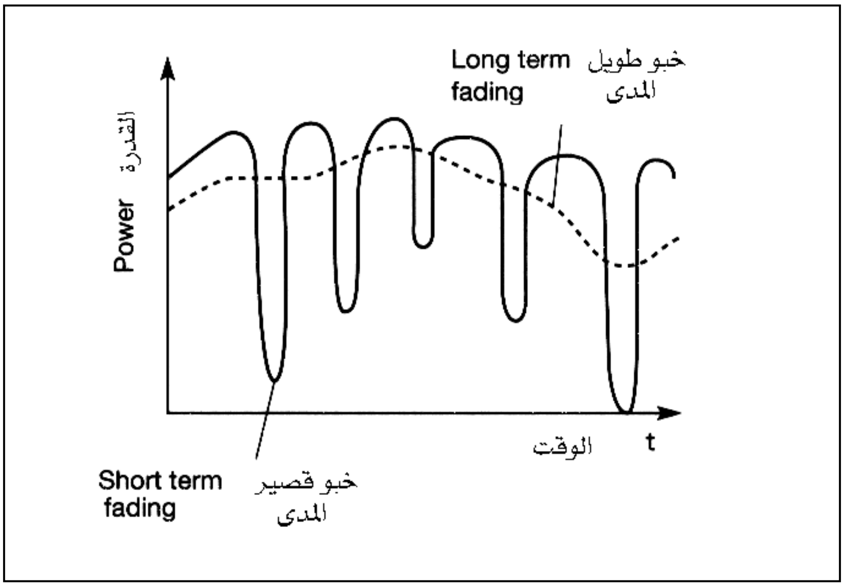
الشكل (٢- ١٢) التشتت الزمني time dispersion

٢- ٥ - ٦ فقدان الإشارة المتعدد الأسباب

يتسبب تأثير التأخير الممتد الناتج عن المسارات المتعددة في تداخل النبضات في جهة المستقبل وباعتبار أن كل نبضة تمثل رمزاً symbol و كل رمز أو عدة رموز تمثل معلومة رقمية bit. فإن الطاقة المحددة لرمز معين تتوزع على الرموز المجاورة وهذه الظاهرة تسمى بتداخل الرموز inter-symbol interference (ISI). .و مع الزيادة في سرعة الترميز symbol rate يزداد تأثير هذه الظاهرة.

و مع وجود تأثير التأخير الممتد وظاهرة تداخل الرموز في الاتصالات اللاسلكية الثابتة فإن تأثيرها يكون أكبر في الاتصالات المتنقلة حيث يكون المستقبل أو المرسل أو كلاهما في حركة وبذلك

تتغير خصائص القناة و المسارات التي تتبعها الإشارة مع تغير الوقت مما يتسبب في تغير في قدرة الإشارة المستقبلة مع الوقت تغيراً سريعاً وهذا التغير السريع في القدرة يسمى بالخبو القصير المدى short term fading. و يوضح الشكل (٢- ١٣) الخبو القصير المدى إضافة إلى الخبو الطويل المدى long term fading و المتمثل بمتوسط القدرة لفترة من الوقت والذي يحدث نتيجة التغير في المسافة الفاصلة بين المرسل و المستقبل أو وجود عوائق على مسافات بعيدة نسبياً. وهذا النوع من الخبو يكون فيه معدل انخفاض القدرة للإشارة المستقبلة مع تغير الوقت بطيئاً مقارنة بالخبو القصير المدى.



الشكل (٢- ١٣) الخبو القصير المدى والخبو الطويل المدى

إضافة إلى ما ذكر أعلاه هناك عدة عوامل تؤثر و قد تتسبب في فقدان أو خبو أو تشويه الإشارات الراديوية و من هذه العوامل ما يسمى بظاهرة إزاحة دوبلر Doppler shift و هو ناتج عن حركة المرسل للإشارة الراديوية بسرعة مما ينتج عنه تغير أو إزاحة في تردد الإشارة. و يعتمد التغير في التردد على السرعة التي يتحرك بها المرسل و المستقبل حيث تقل قيمة التردد كلما زادت سرعة التباعد بين المرسل و المستقبل.

٢- ٦ من حلول مشاكل الإرسال

حيث إن مشاكل الإرسال اللاسلكي ناتجة عن ظواهر طبيعية لا يمكن إزالتها فإن المطلوب هو التكيف و التعامل معها بوضع حلول في أنظمة الاتصالات اللاسلكية تساعد على القضاء أو التقليل قدر الإمكان من الأخطاء الناتجة عن تأثير هذه المشاكل على جودة الاتصال. و لقد تم وضع بعض الحلول التي ساعدت كثيراً في التغلب على الأخطاء و معظم هذه الحلول تتطلب اتخاذ إجراءات خاصة في جهتي المرسل والمستقبل لضمان اكتشاف الأخطاء و تصحيحها.

ومن هذه الإجراءات ما هو خاص بتوزيع الوقت و إدخال بعض الأساليب لحماية المعلومات و أخذ الاحتياطات الوقتية اللازمة لمنع التداخل والتكيف مع الحالة و تشفير الكلام و تشفير القنوات والتغيير المستمر للترددات المستخدمة وتوزيعها على الخلايا بطريقة تضمن عدم تكرار نفس التردد في الخلايا المتقاربة . و منها كذلك ما هو خاص بترتيب أوضاع الهوائيات و توزيعها بطرق تقلل من تأثيرات الخبو و التداخل.

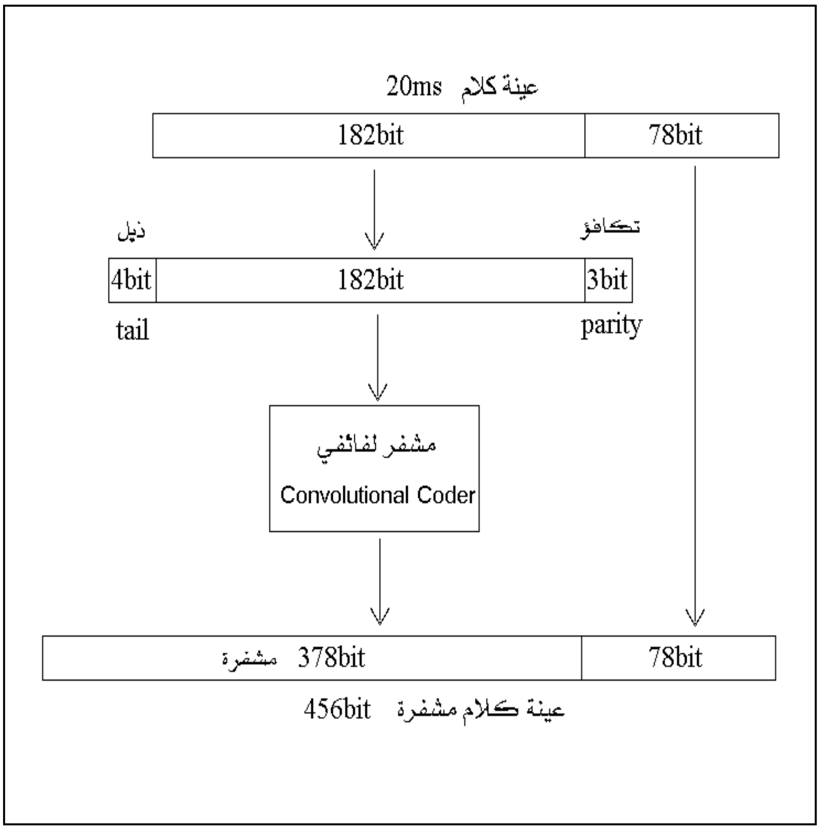
٢- ٦- ١ تشفير القناة

يتم تشفير القناة channel coding لضمان الحماية والخصوصية و يوضح الشكل (٢- ١٤) خطوات تشفير القناة المتبعة في نظام GSM . حيث تدخل معلومات الكلام وهي مكونة من معلومات رقمية ثنائية عددها 260bit تمثل عينة الكلام المشفر لفترة 20ms إلى مشفر القناة حيث تقسم كل إلى جزأين .
الجزء الأول يحتوي على 182bit و تعتبر الأهم والجزء الثاني و يحتوي على 78bit الأقل أهمية. و يتم تشفير الجزء الأول بإضافة 4bit كذيل tail و 3bit للتكافؤ parity . ثم يشفر الناتج و هو 189bit بطريقة التشفير اللفائفي Convolutional Coding بمعدل 1/2 و بذلك يكون الناتج 378bit تضاف مرة أخرى للجزء الثاني المحتوي على 78bit الذي لم يشفر . وبذلك يكون الناتج النهائي 456bit تمثل عينة كلام مدتها 20ms .

٢- ٦- ٢ مباعدة الهوائيات Antenna diversity

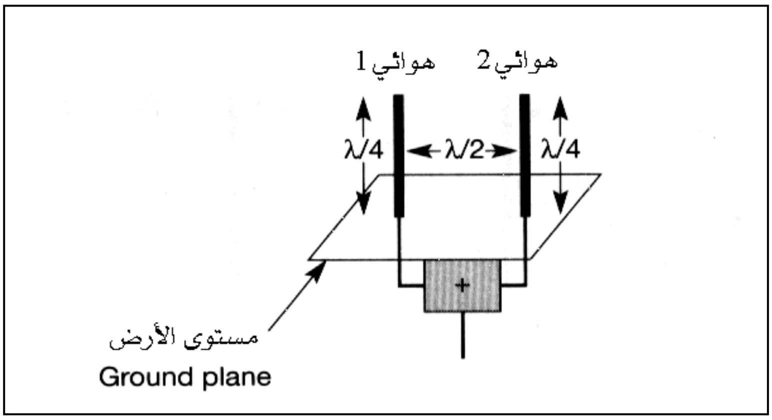
تستعمل طرق مباعدة الهوائيات في نظم الاتصالات اللاسلكية لتحسين قدرة الإشارة المستقبلة دون الحاجة لرفع قدرة الإرسال أو زيادة نطاق التردد. و تعتمد فكرة التباعد على استقبال وتركيب أكثر من

عينة للإشارة المستقبلة بطريقة ملائمة ينتج عنها زيادة القدرة و تحسين أداء جهاز الاستقبال . ويكون التباعد على عدة طرق وهي التباعد الزمني time diversity و التباعد الترددي frequency diversity و التباعد الاتجاهي angle diversity و التباعد المكاني space diversity .



الشكل (٢- ١٤) خطوات تشفير القناة المتبعة في نظام GSM

وبذلك تكون الإشارتان المستقبلتان في الوحدتين مستقلتان في الخبو تقريباً. وحيث إن طول الموجة هو أقل من متر في نطاقات التردد المستخدمة في أنظمة الاتصالات اللاسلكية المتنقلة فإنه يمكن استخدام التباعد المكاني في الوحدات المتنقلة لأن المسافة الفاصلة ستكون في حدود 10cm . الشكل (٢- ١٥) يوضح مثالاً على التباعد المكاني للهوائيات. و عندما يستخدم التباعد المكاني في الوحدات الثابتة فإن المسافة الفاصلة تعتمد على ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض ويجب أن لا تقل عن عشر 1/10 من ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض لتتحقق الاستفادة المطلوبة من التباعد المكاني.



الشكل (٢- ١٥) مثال على استخدام التباعد المكاني للهوائيات.

٢- ٦- ٣ التحزيم التداخلي Interleaving

يستخدم ما يسمى بالتحزيم التداخلي Interleaving كوسيلة لتسهيل اكتشاف و تصحيح الأخطاء الناتجة من الضوضاء النبضية التي تحدث خلال عملية الإرسال اللاسلكي وفي عملية التحزيم التداخلي يتم توزيع المعلومات الرقمية الثنائية bits. فبوجود أخطاء محتملة في مجموعة من المعلومات الرقمية المتتالية يتم تخزين ثم إعادة ترتيب المعلومات الرقمية و بذلك توزع الأخطاء لتصبح أخطاء فردية يسهل اكتشافها والتعامل معها.

٢- ٦- ٤ التقويم المتكيف Adaptive Equalization

يستخدم التقويم المتكيف adaptive equalization في جهة المستقبل كوسيلة مساعدة للتكيف مع خصائص مسار الانتشار في حالة تعدد المسارات . و عملية التقويم المتكيف تعتمد على إرسال مجموعة تسلسلية من الأرقام الثنائية bits ضمن خانة الوقت time slot أو الرشقة burst وتسمى هذه المجموعة تسلسل التدريب training sequence وتكون معروفة لدى المرسل و المستقبل. و يستفيد الطرف المستقبل من تسلسل التدريب في التكيف مع ظروف الإرسال و تحديد خصائص مسارات الانتشار والتأقلم معها و ذلك بإستخدام مرشح عكسي يتم تعديل خواصه حسب نتيجة المقارنة بين تسلسل التدريب المستلم و مسلسل التدريب الصحيح والموجود مسبقاً لدى المستقبل فتعرف الأخطاء و كيفية تصحيحها و تعدل خواص المرشح العكسي بناء على ذلك. وعند استلام الرشقة التالية تمرر عبر المرشح العكسي لتتم عملية التصحيح.

و في نظام GSM يتكون تسلسل التدريب من 26bit و يوجد في وسط الرشقة كما هو موضح في الشكل (٢- ٦).

٢- ٦- ٥ القفز الترددي Frequency hopping

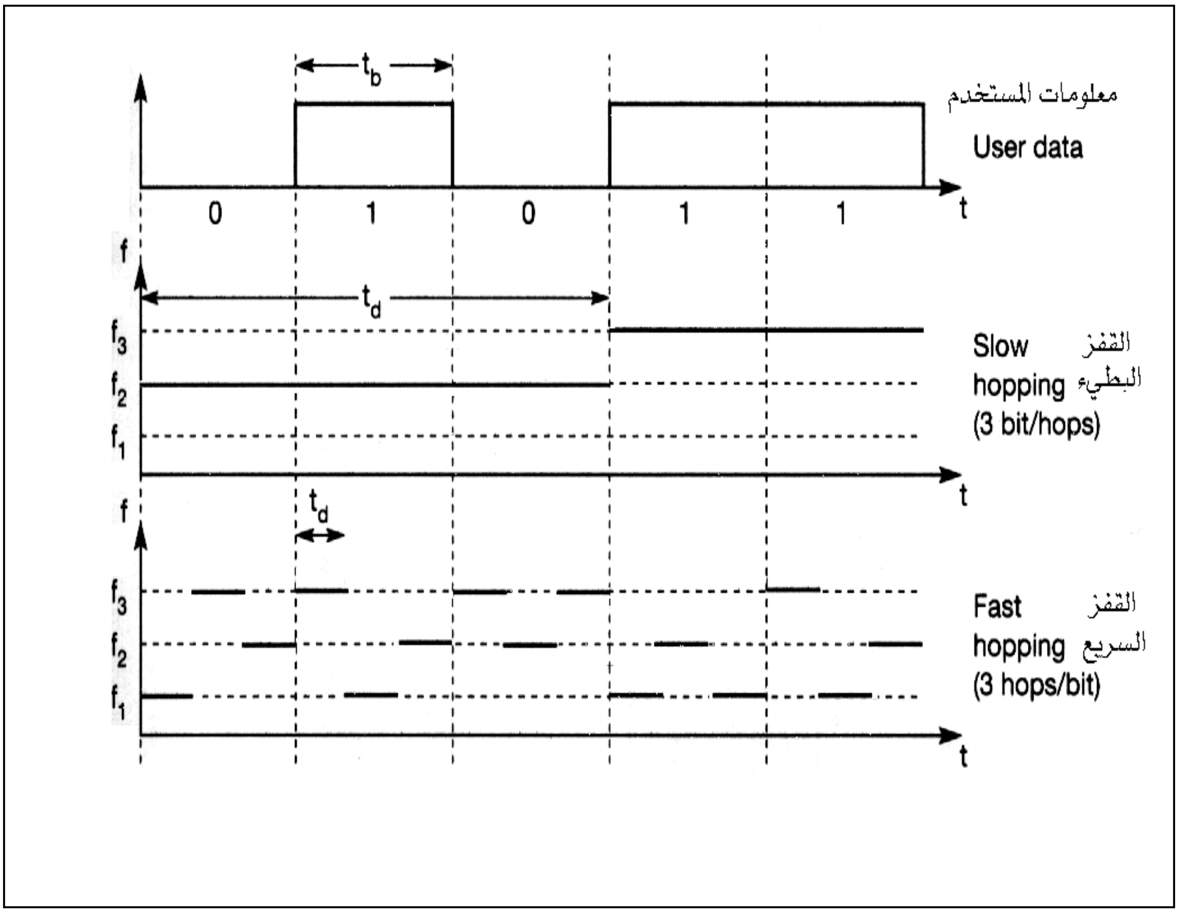
القفز الترددي frequency hopping هو طريقة اختيارية يمكن استخدامها في نظم الاتصالات اللاسلكية للحد من تأثير التداخل بين المستخدمين لنفس القناة الترددية co-channel interference و كذلك التقليل من الأخطاء الناتجة عن تعدد المسارات. فنجد أنه في نظام GSM يستخدم كل من مسلك التقسيم الترددي FDMA و مسلك التقسيم الزمني TDMA و بذلك فإن عدد المستخدمين لنفس القناة الترددية يصل إلى 8 في نفس الوقت و يوزع الوقت بين المستخدمين بحيث يعطى كل مستخدم 577µs من الوقت . و باستخدام القفز الترددي فإن التردد المخصص لمستخدم معين يتغير باستمرار و بذلك يتنقل المستخدم خلال المكالمة الواحدة إلى قنوات ترددية مختلفة يصل عددها إلى 124 قناة . ويتم الانتقال من قناة إلى قناة أخرى بمعدل معين و في فترات زمنية محددة متفق عليها و يجب أن يتم ذلك بالتنسيق الدائم بين المرسل و المستقبل و يكون الفرق بين التردد المخصص لوصلة الهبوط downlink و التردد المخصص لوصلة الصعود uplink ثابتاً دائماً وهو 45MHz في نظام GSM-900.

و هناك نوعان من القفز الترددي و هما القفز الترددي البطيء slow frequency hopping و القفز الترددي السريع fast frequency hopping . وفي النوع الأول تتغير القناة الترددية بعد عدة تغيرات للمعلومات الرقمية. أما في النوع الثاني فتتغير القناة عدة مرات خلال معلومة رقمية واحدة و الشكل(٢- ١٦) يوضح مثالاً على نوعي القفز الترددي حيث تتغير القناة الترددية بعد ثلاثة تغييرات للمعلومات الترددية في النوع الأول و في النوع الثاني تتغير القناة الترددية ثلاثة مرات خلال معلومة رقمية واحدة.

٢- ٦- ٦ الاستباق الزمني Timing advance

في أنظمة الاتصالات المتنقلة الرقمية تعتبر عملية التزامن في إرسال المعلومات مهمة للغاية وعندما يكون هناك عدد من أجهزة الارسال المتنقلة MS في خلية واحدة تتفاوت أبعادها عن المحطة القاعدية BTS. وبذلك يعتمد التأخير أو التخلف الزمني على المسافة التي تقطعها الإشارة للوصول للمحطة الثابتة.

وتهدف عملية الاستباق الزمني timing advance إلى تنظيم توقيت عملية الاستقبال لجعل الإشارات المستقبلة من أجهزة الإرسال المختلفة لتصل كل منها في الوقت المناسب تفادياً للتداخل. فتقوم المحطة بقياس فترة التأخير للإشارة المرسلة من محطة متنقلة معينة فإذا كان هناك تأخير قد يتسبب في تداخل ترسل تعليمات للمحطة المتنقلة بعمل تسريع أو استباق زمني لعملية إرسال الرشقات .

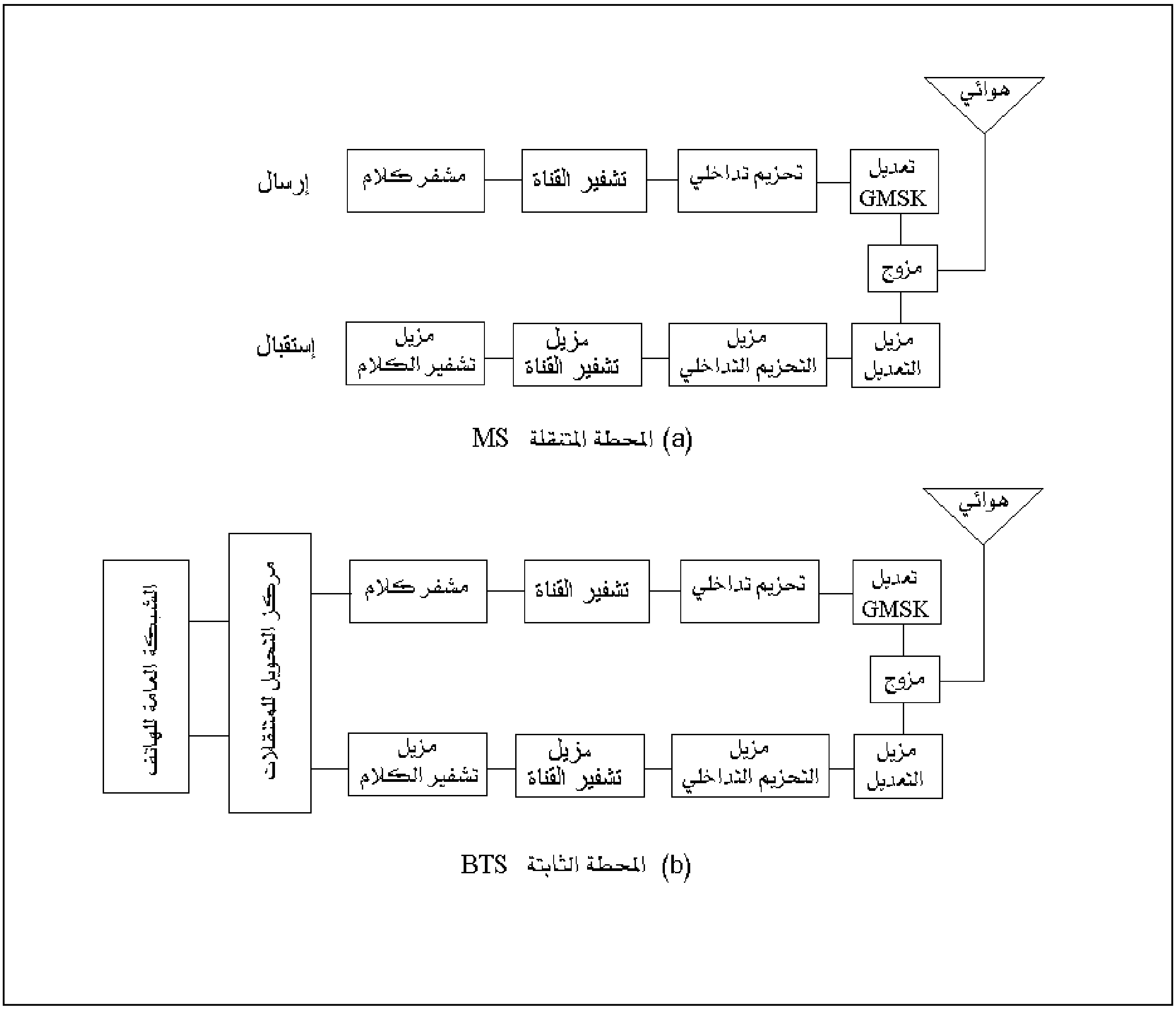


الشكل (٢- ١٦) يوضح مثالاً لنوعي القفز الترددي

٢- ٧ نظام GSM

٢- ٧- ١ خطوات الإرسال في نظام GSM

الشكل (٢- ١٧) يوضح خطوات الإرسال و الاستقبال في نظام GSM. ففي المحطة المتنقلة MS تتم عملية الإرسال كما هو موضح في الشكل (٢- ١٦أ) بتحويل الكلام إلى معلومات من خلال مشفر الكلام الذي يأخذ عينات من الكلام و يحولها إلى معلومات رقمية. ثم تشفر في مشفر القناة .



الشكل (٢- ١٧) يوضح خطوات الإرسال و الاستقبال في نظام GSM
(a) في المحطة المتنقلة MS و (b) في المحطة الثابتة BTS

ثم تتم عملية التحزيم التداخلي ثم عملية التعديل الرقمي GMSK بعد ذلك تكون الإشارة جاهزة للإرسال حيث تمرر عبر المزوج duplexer الذي يفصل بين الإشارة المرسلة والمستقبلة و ترسل عبر الهوائي. و تتم عملية الاستقبال بخطوات معاكسة لعملية الإرسال. و في المحطة الثابتة BTS تتم نفس عمليات الإرسال و الاستقبال كما في المحطة المتنقلة إلا أن الدخل في حالة الإرسال والخرج في حالة الاستقبال يكون عبر مركز التحويل للمتنقلات و المتصل بالشبكة العامة للهاتف كما هو موضح في الشكل (٢- ١٧ب).

٢- ٧- ٢ التحزيم التداخلي في نظام GSM

تتم عملية التحزيم التداخلي في نظام GSM لتوزيع الأخطاء في المعلومات الرقمية الثنائية والتي قد تحدث خلال عملية الإرسال. حيث يتم توزيع المعلومات الرقمية الناتجة من عملية تشفير القناة قبل إرسالها بطريقة بحيث يمكن إعادة ترتيبها في صورتها الأصلية بعد استقبالها . ففي جهة الإرسال تؤخذ عينة من الكلام المشفر بعرض 20ms تحتوي على 456bit من المعلومات الرقمية و تخزن في الذاكرة وتسجل في صفوف عددها 57 صف كل صف يحتوي على 8bit ثم تقرأ عمودياً و ترسل. و يكون كل عمود شريحة زمنية من المعلومات الرقمية عددها 57bit .

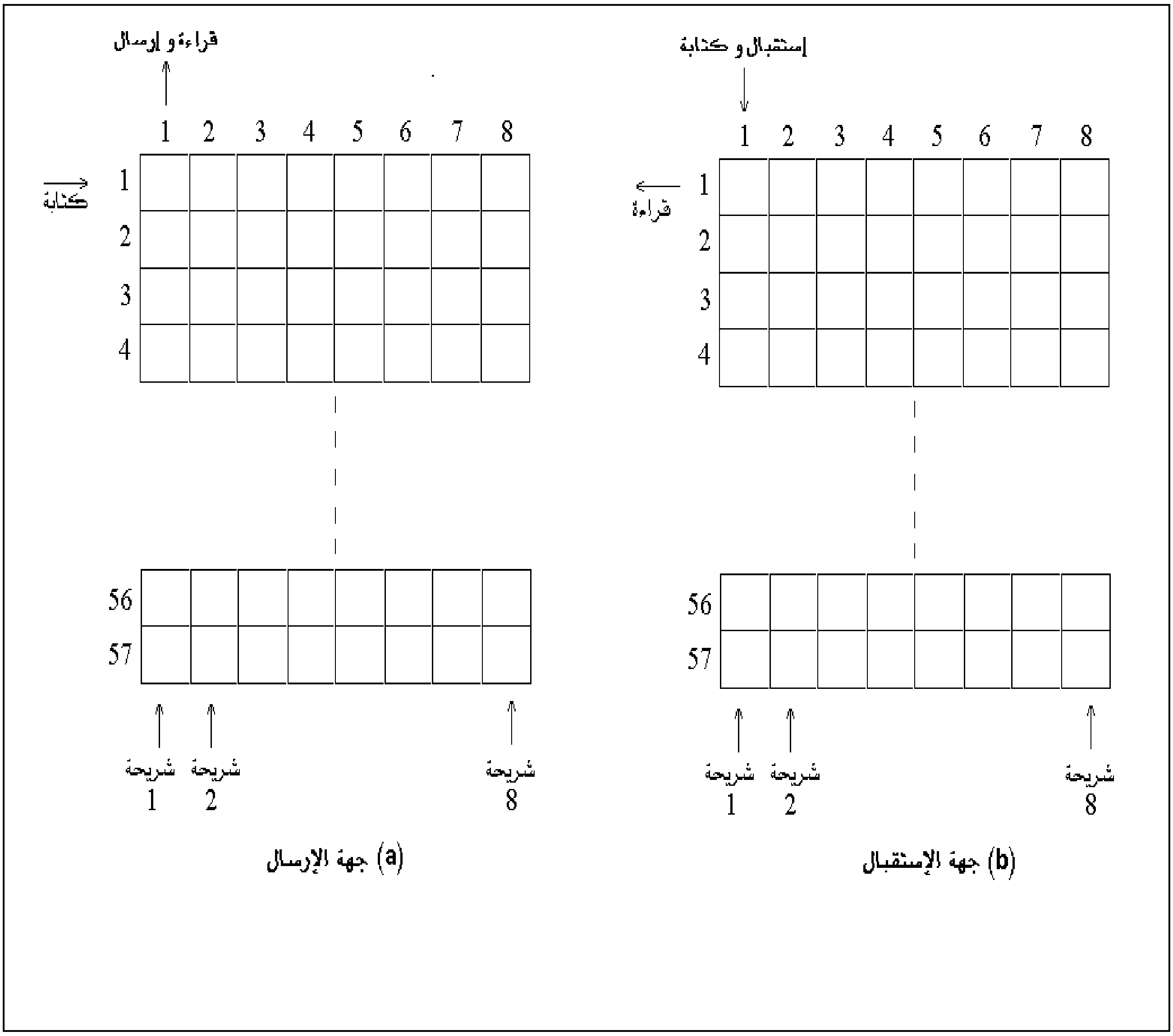
و بذلك تحتوي كل شريحة زمنية على جزء من 8 أجزاء من عينة مدتها 20ms من الكلام المشفر. وفي جهة الاستقبال تتم إزالة التحزيم التداخلي بخطوات معاكسة لما تم في الجهة المرسلة حيث يعاد ترتيب المعلومات الرقمية كما كانت في الأصل انظر الشكل (٢- ١٨). و بذلك فإنه يتم توزيع الأخطاء التي حدثت خلال عملية الإرسال فيسهل اكتشافها و يتم تصحيحها . فقد وزعت الرموز التي تمثل 20ms من الكلام المشفر على 8 شرائح زمنية في 8 إطارات متتالية. وهنالك عدة مستويات للتحزيم التداخلي.

ففي قنوات التحكم يستخدم المستوى الأول حيث ترسل الشرائح الأربعة الأولى (1,2,3,4) في الأجزاء الأولى من أربعة رشقات متتالية و ترسل الشرائح الأربعة الأخيرة (5,6,7,8) في الأجزاء الثانية من نفس الرشقات. أما في قنوات المعلومات (الكلام) فيستخدم المستوى الثاني حيث ترسل كل شريحة مع شريحة أخرى من عينة كلام سابقة في رشقة واحدة . فترسل أربعة الشرائح الأولى (1,2,3,4) من العينة الحالية على التوالي مع أربعة الشرائح الأخيرة (5,6,7,8) من العينة السابقة على التوالي في أربعة رشقات متتالية . فتحتوي الرشقة الواحدة على شريحة من عينة الكلام الحالية وشريحة أخرى من عينة الكلام السابقة.

٢- ٧- ٣ تمويه الإشارة بالتشفير Encryption

يتم تمويه الإشارة بالتشفير encryption في نظام GSM لغرض الحماية الأمنية و ذلك بإجراء عملية جمع ثنائي XOR بين 114bit و هي المقطع الذي يمثل المعلومات الرقمية في كل شريحة زمنية مع شفرة شبه عشوائية تشتق من رقم الإطار و مفتاح المكالمة . و تكفل هذه الشفرة حماية جيدة ضد التنصت . و في جهة الاستقبال تولد نفس الشفرة و تجمع ثنائياً مرة أخرى بالمعلومات الرقمية المشفرة لفك

الشفرة و استنتاج 114bit التي تمثل المعلومات الرقمية الأصلية. و لا تؤثر عملية التشفير أو التمويه في معدل إرسال المعلومات.



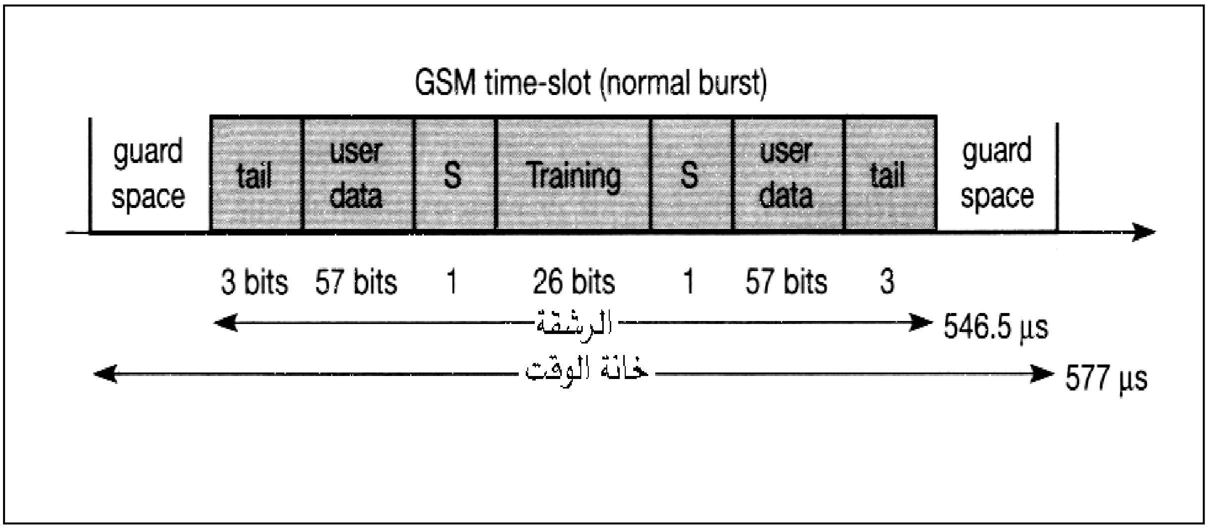
الشكل (٢- ١٨) التحزيم التداخلي في نظام GSM

٢- ٧- ٤ تهيئة الرشقة Burst formatting

في نظام GSM تتكون الرشقة من 148bit بعرض زمني مقداره 546.5µs انظر الشكل (٢- ١٩) و تتم تهيئتها بمعلومات الكلام كما يلي :

- في بداية الرشقة يوضع الذيل tail ويتكون من 3bit
- يوضع بعد ذلك الجزء الأول من معلومات المستخدم user data وهي شريحة تحتوي على 57bit من عينة الكلام الحالية.
- يوضع بعد ذلك علم flag (S) وهو 1bit
- توضع بعد ذلك مجموعة تسلسل التدريب training sequence و عددها 26bit
- يوضع بعد ذلك علم flag (S) وهو 1bit
- يوضع بعد ذلك الجزء الثاني من معلومات المستخدم user data و هي شريحة تحتوي على 57bit من عينة الكلام السابقة.
- في نهاية الرشقة يوضع الذيل tail و يتكون من 3bit
- تترك فترة زمنية للحماية space guard بمقدار 15.25µs قبل بداية الرشقة و بعد نهايتها

و بذلك يكون هناك فراغ زمني بمقدار 30.5µs بين كل رشقتين متتاليتين وتكون كامل الفترة الزمنية لخانة الوقت timeslot هي 577µs .



الشكل (٢- ١٩) تهيئة الرشقة burst في نظام GSM

٢- ٧- ٥ التعديل و الإرسال في نظام GSM

بعد أخذ عينة الكلام و تحويلها إلى معلومات رقمية ثنائية و إجراء تشفير القناة عليها ثم إجراء التحزيم التداخلي و تهيئة الرشقة تدخل الرشقة إلى المعدل الرقمي digital modulator حيث تحول إلى إشارة تماثلية يمكن إرسالها لاسلكياً و نوع التعديل المستخدم في نظام GSM هو تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) .

و يحقق هذا النوع من التعديل قدرة في القناة المجاورة تقل إلى مستوى 60db- مما يقلل من التداخل بين القنوات المتقاربة في التردد و المكان و ينقل المعلومات بمعدل إرسال قدره 270.8Kbit/s في عرض نطاق ترددي Band width يعادل 200KHz مما يعطي كفاءة طيفية قدرها 1.35bit/sec/Hz. و تخرج الإشارة التماثلية بعد ذلك إلى المزوج duplexer التي تفصل الإشارة المستقبلة من الإشارة المرسلة ثم إلى الهوائي لإرسالها.

و في جهة الاستقبال تجري العمليات بخطوات عكسية فبعد الاستقبال من الهوائي و المرور عبر وصلة الازدواج تتم عملية إزالة التعديل الرقمي و فك الشفرة و إزالة التحزيم التداخلي وتصحيح أخطاء الإرسال و إزالة التشفير اللفائفي ثم تحويل المعلومات الرقمية إلى إشارة تماثلية ثم إلى كلام مرة أخرى.

تمارين على الوحدة الثانية

١. عرف كلاً من :- التردد - طول الموجة - النطاق الترددي - القناة الترددية
٢. ما العلاقة التي تربط بين التردد و طول الموجة؟
٣. ما سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ؟ وهل تتغير مع تغير التردد أو طول الموجة أو وسط الانتشار؟
٤. عرف أنواع التعديل الرقمي مع شرح كل نوع منها بالرسم
٥. اشرح بالرسم طريقة تعديل الإزاحة الدنيا MSK
٦. ما نوع التعديل الرقمي المستخدم في نظام GSM ؟
٧. ما أنواع التجميع multiplexing المستخدمة في أنظمة الاتصالات المتنقلة الحديثة؟
٨. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم الترددي FDMA
٩. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم الزمني TDMA
١٠. اشرح طريقة التجميع بالتقسيم المكاني SDMA
١١. اشرح بالرسم خطوات الإرسال والاستقبال اللاسلكي لمعلومات رقمية
١٢. ما العلاقة بين قدرة الإشارة اللاسلكية المستقبلة و المسافة؟
١٣. اشرح ظاهرة التظليل و أسبابها و تأثيرها على جودة الاتصالاللاسلكي
١٤. اشرح ظاهرة تعدد المسارات و أسبابها و تأثيرها على جودة الاتصالاللاسلكي
١٥. اشرح ظاهرة التشتت الزمني و أسبابها و كيفية التعامل معها
١٦. اذكر أسباب فقدان الإشارة اللاسلكية
١٧. اذكر الحلول المتبعة لمشاكل الإرسال
١٨. اشرح بالرسم طريقة تشفير القناة في نظام GSM
١٩. ما المقصود بمباعدة الهوائيات و ما تأثيره على جودة الاتصالاللاسلكي
٢٠. تتغير سرعة انتشار الموجات اللاسلكية مع تغير:
a. أ- طول الموجة ب- التردد ج- وسط الانتشار
٢١. من مشاكل الإرسال في النظم الهاتفية المحمولة:
a. أ- سرعة الانتشار ب- التردد العالي ج- تعدد المسارات د- السعة الكبيرة

٢٢. ما التقويم المتكيف؟ وفيم يستخدم؟

٢٣. ما القفز الترددي؟ و فيم يستخدم؟

٢٤. اشرح بالرسم خطوات الإرسال و الاستقبال في نظام GSM

٢٥. كيف تتم عملية تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية في نظام GSM ؟

٢٦. كيف يتم إرسال مقاطع منفصلة في نظام GSM ؟

٢٧. اشرح بالرسم عملية التحزيم التداخلي في نظام GSM

٢٨. ما الغرض من تمويه الإشارة بالتشفير encryption وكيف تتم في نظام GSM ؟

٢٩. اشرح بالرسم عملية تهيئة الرشقة في نظام GSM

٣٠. اشرح عملية التعديل و الإرسال في نظام GSM

الاتصالات المتنقلة

معطيات القنال

الوحدة الثالثة : معطيات القنال

الجدارة: التعرف على الاتصالات المتنقلة والنظام الشامل للاتصالات المتنقلة GSM.

الأهداف: تهدف هذه الوحدة إلى :

١. إبراز الفرق بين مفهوم القنال الفيزيائية والمنطقية.
٢. إعطاء فكرة واضحة عن كيفية تركيب المعلومات في القنال المنطقية
٣. إبراز دور كل قنال أثناء المكالمة عبر الجوال.
٤. التمييز بين القنال الفيزيائية والقنال المنطقية .
٥. التمكن من حساب عدد المشتركين في منطقة معينة في شبكة الجوال .
٦. فهم دور الجوال في جميع مراحل المكالمة عبر الجوال .
٧. تحديد المدى الأقصى لإجراء المكالمة عبر الجوال بالنسبة للقاعدة الأساسية في الخلية

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب بإذن الله إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٩ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج MS WORD or POWER POINT لعرض المحاضرات على جهاز عرض البيانات.

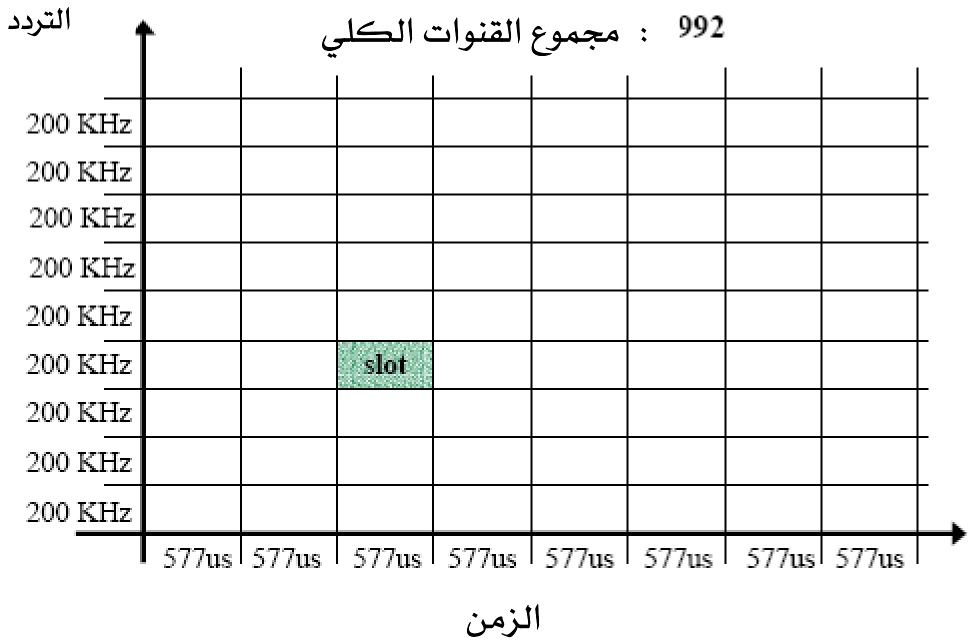
متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب ملماً بأساسيات الاتصالات التماثلية والرقمية.

٣- ١ أنواع قنوات نظام GSM

قبل التعرض لأنواع القنوات في نظام GSM لابد من إعطاء فكرة عن أسلوب تعدد المسالك ومن ثمة هيكلة القنوات في نظام GSM.

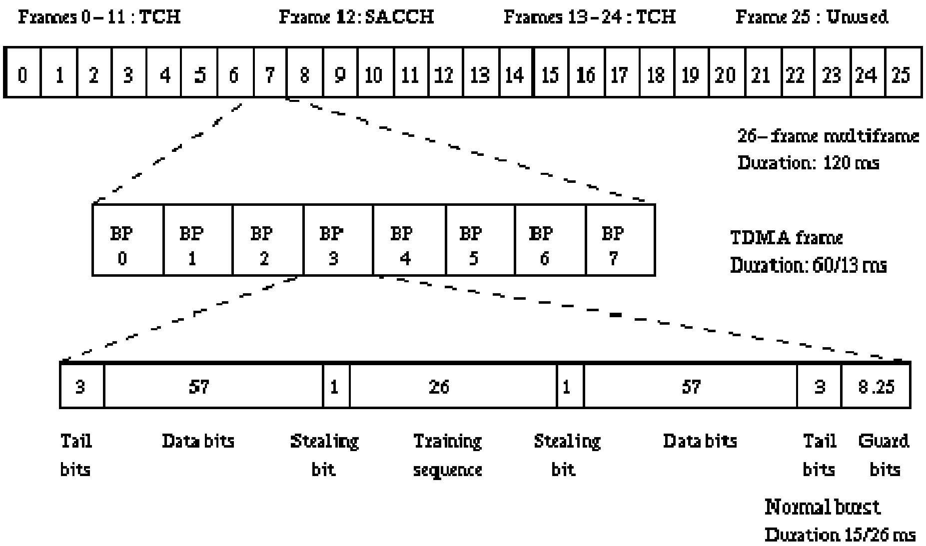
بما أن الطيف الترددي اللاسلكي هو من الموارد المشتركة بين كل المشتركين في الشبكة فإن من الضروري إيجاد طريقة لتقسيم سعة النطاق بين أكثر عدد من المشتركين.

لذلك في نظام GSM وقع اختيار طريقة تدمج بين تعدد المسالك بالتقسيم الترددي FDMA والتقسيم الزمني TDMA حيث يشمل جزء التقسيم الترددي على تقسيم سعة النطاق التي عرضها 25 MHz إلى 124 حاملاً (carrier) تبعد عن بعضها البعض مقدار 200KHz . ثم تقسم كل واحدة من هذه الترددات الحاملة تقسيماً زمنياً في حد ذاتها باستعمال أسلوب TDMA حيث يكون الجزء الزمني الأساسي في التقسيم الزمني يساوي 15/26 ms أي حوالي 577µs ويسمى هذا الجزء الأساسي رشقة burst كما تقدم في الوحدة السابقة.



الشكل(٣- ١) القنوات الفيزيائية

تكوّن مجموعة ثماني رشقات مع بعضها البعض ما يسمى بالرتل Frame (-TDMA) وتكون مدته إذا ثماني مرات مدة الرشقة الواحدة أي 120/26 ms أو ما يعادل 4.615 ms.



الشكل(٣- ٢) هيكلة رتل **GSM** والرشقة العادية

ويكوّن هذا الرّتل الجزء الأساسي لتعريف <u>القناة المنطقية</u> أما مدة الرشقة الواحدة فتمثل <u>القناة الفيزيائية</u> الواحدة عبر الرتل ،وتعرف القنوات بحسب رقم وموضع الرشقات التابعة لها .

و بصفة عامة يمكن تقسيم القنوات إلى صنفين:

أ- **قنوات مكرّسة** dedicated channels

وهي عبارة عن قنوات تمّ تخصيصها للمحطة المتنقلة MS

ب- **قنوات مشتركة** common channels

و هي قنوات يمكن استعمالها من طرف المحطات المتنقلة في حالة الراحة Idle Mode

٣- ٢ القنوات المنطقية

هناك نوعان من القنوات المنطقية في نظام GSM حيث يسمى النوع الأول قنوات الحركة Traffic Channels و يرمز لها TCH ، والنوع الثاني يسمى قنوات التحكم Control Channels و يرمز لهاCCH.

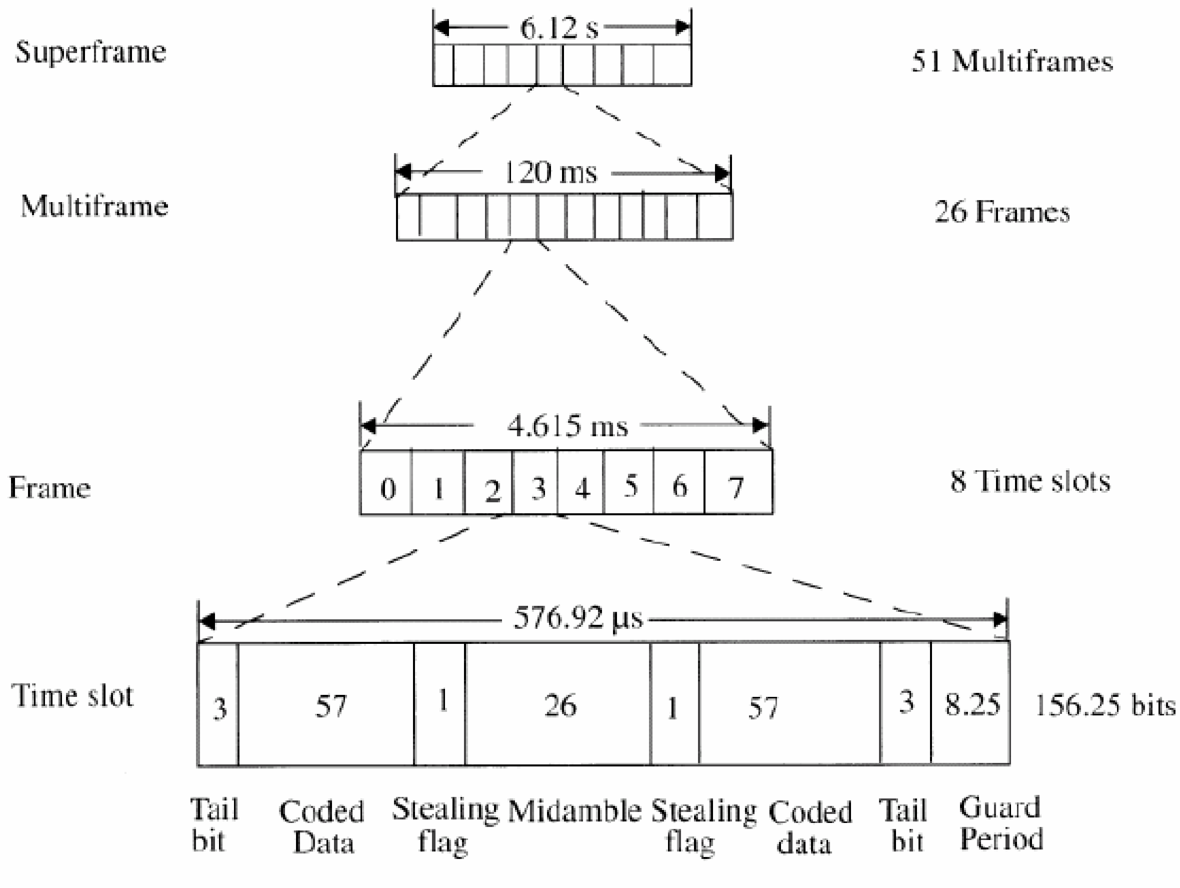
أما قنوات الحركة فهي تحمل مكالمة المشترك و بياناته في شكلها المشفر .وهذه القنوات لها نفس الدور و الشكل في الوصلة الصاعدة أو الهابطة.

وأما قنوات التحكم فهي تحمل أوامر التأشير والتزامن بين المحطة القاعدية Base Station و المحطة المتنقلة. وهناك بعض قنوات للتحكم تكون خاصة بالوصلة الصاعدة و هناك قنوات تحكم أخرى تكون خاصة بالوصلة الهابطة.

في نظام GSM هناك ستة أنواع من قنوات الحركة TCHs وهناك عدد أكبر من ذلك بالنسبة لقنوات التحكم سيتبع تبيانها بالتفصيل.

٣- ٢- ١ قنوات الحركة TCHs

قنوات الحركة حددت باستعمال رتل متعدد Multi-frame ذي 26 رتلاً (26 TDMA-frames)



الشكل (٣- ٣) هيكلة أرتال قنوات الحركة

فيكون طول الرتل المتعدد إذاً 120 ms. في هذا الرتل المتعدد يستخدم فقط 24 رتلاً للحركة Traffic أي للمحادثة ومعلومات المشتركين من جملة الست والعشرين، أما الرتلان المتبقيان فواحد يستعمل لقناة التحكم المصاحبة البطيئة slow associated control channel (SACCH) و الآخر شاغر حالياً.

قنوات الحركة TCHs في الوصلة الصاعدة وفي الوصلة الهابطة تكون مزاحة في تزامنها بمقدار ثلاث مرات زمن الرشقة الواحدة و ذلك حتى لا تحتاج المحطة المتنقلة أي جهاز الجوال للإرسال والاستقبال في نفس اللحظة وبالتالي لعدم تعقيد الإلكترونيات في الجهاز بشكل أكبر.

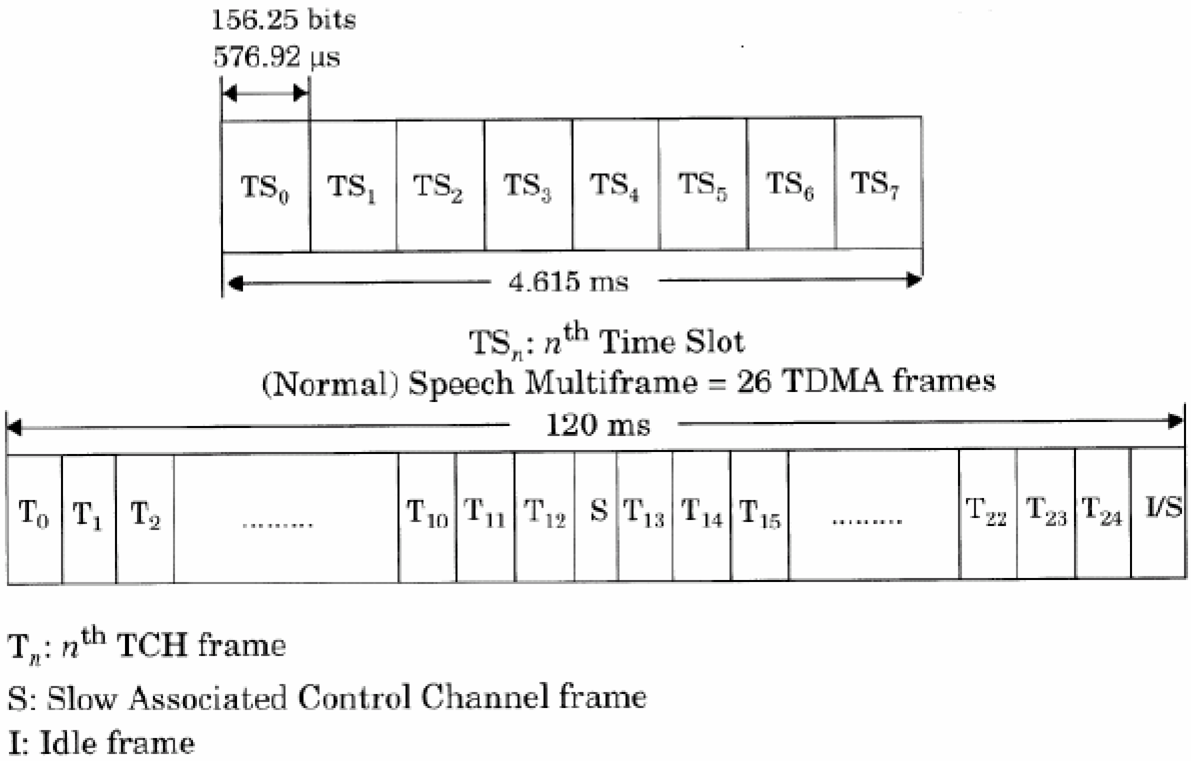
إلى جانب هذه القنوات ذات معدل التدفق الكامل full rate TCHs (13.4kbps) هناك أيضاً قنوات ذات معدل التدفق النصفي half rate TCHs (7kbps) . وإن كانت هذه الأخيرة قد حددت مواصفاتها إلا أنها إلى الآن لم تستعمل في نظام GSM الحالي .ومن ميزاتها أنها ستضاعف سعة النظام نتيجة لاستعمال مشفّر الكلام ذي معدل التدفق النصفي فيزداد بذلك عدد المشتركين الذين يمكن استيعابهم في نفس الوقت.

في حالة النقل على قنوات الحركة من نوع معدل التدفق الكامل TCH/F فإن بيانات المشترك (المحادثة)تحمل في خانة زمنية واحدة Time Slot (TS) في الرتل.

أما في حالة النقل على قنوات من نوع معدل التدفق النصفي TCH/H فإن بيانات المشترك تحمل على نفس الخانة الزمنية ولكن في أرتال متباينة عوضاً عن أن تكون متتالية يعني أن كل مشتركين اثنين من قناة ذات معدل التدفق النصفي سيستعملان نفس الخانة ولكن النقل يتم بالتناوب في الرتل.

حسب مواصفات نظام GSM فإن الخانة الأولى ذات الرقم صفر TS0 في قنوات الحركة لا تستعمل لنقل بيانات المشتركين ولكن تستعمل كمحطة إذاعة Broadcast station لكل خلية أي أنها تستعمل في كل رتل لنقل رشقات قناة التحكم.

كما أن بيانات أرتال قناة الحركة TCH- data تقطع عند الرتل الثالث عشر لنقل إما بيانات قناة التحكم المصاحبة البطيئة SACCH أو لنقل رتل شاغر كما هو في الشكل(٣- ٤).



الشكل(٣- ٤) كيفية نقل قنوات الحركة في الرتل

٣- ٢- ١- ١ قنوات الحركة ذات معدل التدفق الكامل TCH/F

لنقل المحادثة والبيانات الرقمية يشتمل نظام GSM على القنوات ذات التدفق الكامل التالية :

- **قناة المحادثة ذات معدل تدفق كامل** Full Rate Speech Channel (TCH/FS)

وهي قناة لنقل محادثة المشترك التي تم تحويلها إلى رقمية بمعدل تدفق خام بمقدار 13kbps ومع إضافة تشفير القناة الخاص بنظام GSM يصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 22.8kbps .

- **قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار** 9600bps Full Rate Data Channel (TCH/F9.6) و

هي قناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار 9600 bps ومع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القنات في الجملة 22.8kbps .

- **قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار** 4800bps Full Rate Data Channel (TCH/F4.8)

و هي قناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار 4800 bps ومع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 22.8kbps

- **قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار** 2400bps Full Rate Data Channel (TCH/F2.4)

و هي قناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار 2400 bps ومع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 22.8kbps

٣- ٢- ١- ٢ قنوات الحركة ذات معدل التدفق النصفي TCH/H

يشتمل نظام GSM على القنوات ذات التدفق الكامل التالية :

- **قناة المحادثة ذات معدل تدفق نصفي** Half Rate Speech Channel (TCH/HS)

و هي لنقل المحادثة الرقمية التي يتم تكميتها بنصف معدل تدفق قناة TCH/F ،وبهذا تكون مواصفات نظام GSM قد سبقت إيجاد مشفّرات للمحادثة التي تمكن من ترقيم الصوت بمعدل تدفق حوالي 7kbps . ومع إضافة تشفير القناة الخاص بنظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 11.4kbps .

- **قناة البيانات ذات معدل تدفق نصفي بمقدار** 4800bps (TCH/H4.8) Half Rate Data Channel و هي قناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار 4800 bps ومع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 11.4kbps

- **قناة البيانات ذات معدل تدفق نصفي بمقدار** 2400bps (TCH/H2.4) Half Rate Data Channel و هي قناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار 2400 bps ومع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام GSM فيصبح معدل تدفق هذه القناة في الجملة 11.4kbps

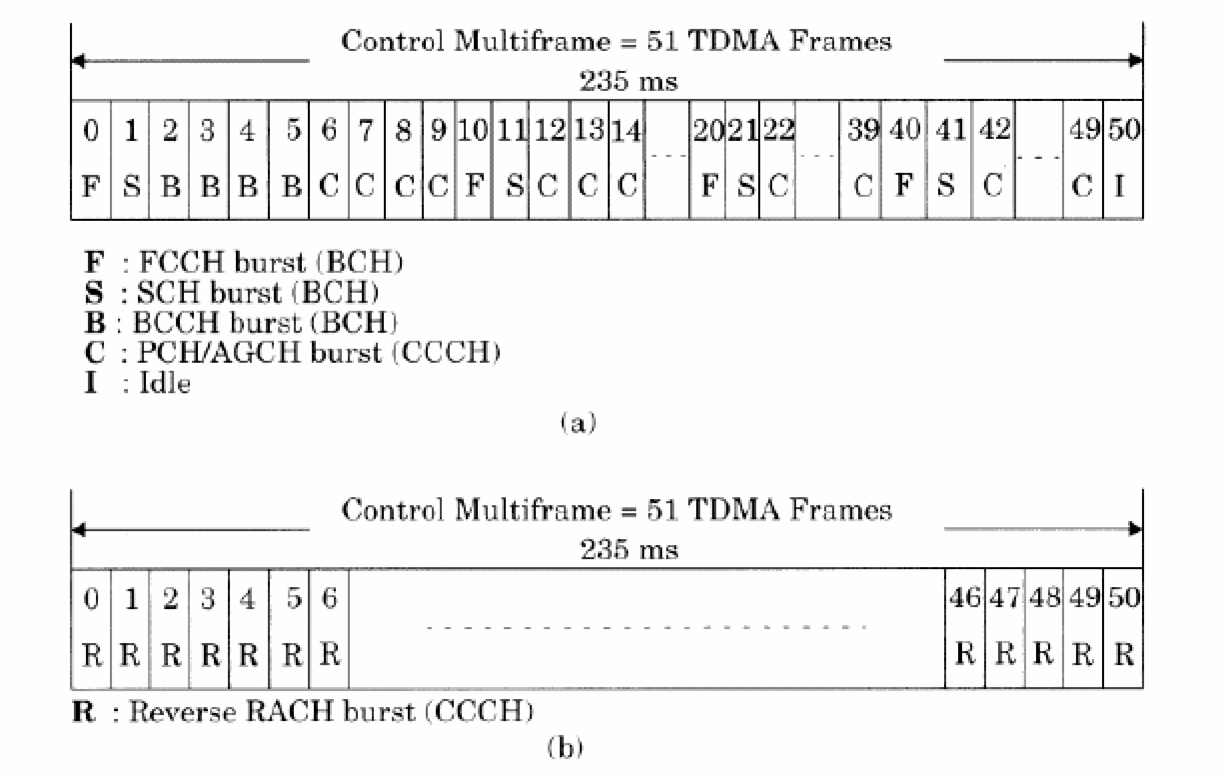
٣- ٢- ٢ قنوات التحكم CCHs

يوجد في نظام GSM ثلاث قنوات تحكم رئيسة:

- **قناة إذاعة** Broadcast channel (BCH)

- **قناة تحكم مشتركة** Common control channel (CCCH)

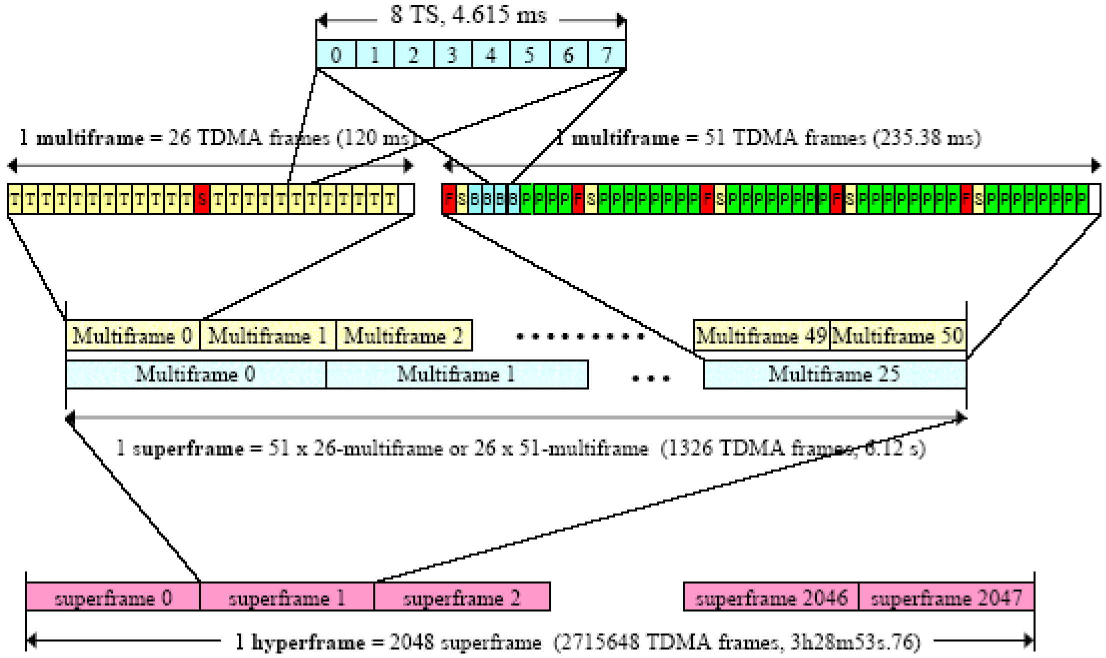
- **قناة تحكم مكرّسة** (Dedicated control channel (DCCH



الشكل(٣- ٥) كيفية نقل قنوات التحكم في الرتل

وتشمل كل واحدة من قنوات التحكم هذه عدة قنوات منطقية موزعة في الزمن لتوفير التحكم المطلوب في نظام GSM .

إن قنوات التحكم BCH وCCCH في حالة الوصلة الهابطة تكون مرسخة فقط على بعض القنوات الترددية حيث ترصد لها خانات زمنية بطريقة خاصة جداً. وبالخصوص في حالة الوصلة الصاعدة فإن قنوات التحكم BCH وCCCH تكون فقط على الخانة الزمنية ذات الرقم صفر TS0 وترسل فقط أثناء بعض الأرتال داخل الرتل المتعدد من فئة 51 المسمى الرتل المتعدد لقناة التحكم control channel multi-frame



الشكل(٣- ٦)التركيبة التصاعدية للأرتال المتعدد لقناة التحكم

وذلك على الترددات المحددة لقنوات الإذاعة GSM broadcast channels أما الخانات الزمنية المتبقية أي TS0...TS7 فهي تحمل قنوات الحركة TCHs العادية .وهذا يعني أن الترددات المحددة أصلاً لقنوات التحكم قادرة على أن تحمل قنوات المشتركين ذات معدل التدفق الكامل على سبع خانات من جملة ثماني خانات الزمنية.

إن مواصفات نظام GSM تعرّف 34 قناة ترددية على أساس أنها قنوات إذاعة. وتتميز قنوات الإذاعة هذه بالنسبة للوصلة الهابطة بكون الرتل رقم 51 لا يحتوي بتاتاً على بيانات قنوات BCH و CCCHللوصلة الهابطة ويبقى شاغراً

بينما قناة CCCH بالنسبة للوصلة الصاعدة قادرة على حمل إرسال المشترك أثناء الخانة صفر TS0 من أيّ رتل كان حتى الرتل الشاغر idle frame .

وفي المقابل فإن بيانات قنوات التحكم المكرّسة DCCH يمكن أن ترسل أثناء أي خانة زمنية في أي رتل ويمكن أن تكون أرتالاً بأكملها مخصصة بصفة نوعية لنقل قنوات DCCH.

و في ما يلي سيتبع تبيان قنوات التحكم بشكل تفصيلي.

٣- ٢- ٢- ١ قنوات البث أو الإذاعة Broadcast Channels (BCH)

في كل خلية تعمل قناة الإذاعة على تردد مخصوص في الوصلة الهابطة فقط وترسل بيانات فقط في الخانة الأولى الزمنية أي TS0 لبعض أرتال GSM.إذاً هي بخلاف قنوات الحركة TCHs التي تكون من نوع الدوبلاكس أي ترسل على الوصلة الصاعدة و الوصلة النازلة .

وتستخدم قناة الإذاعة BCH كقناة منارة لكل جوّال موجود في جوار المحطة القاعدية حتى يتعرف عليها ثم يرتبط بها إن كانت هي الأقرب .

توفر قناة BCH التزامن synchronization لجميع المحطات المتنقلة داخل الخلية كما تقوم المحطات المتنقلة في الخلايا المجاورة باستكشافها بصفة دورية واستقبال مستوى طاقتها الذي على أساسه يقرر انتقال الارتباط من خلية إلى أخرى .

بالرغم من نقل قناة BCH في الخانة الزمنية TS0 فإن بقية الخانات السبع المتبقية في الرتل على نفس القناة الترددية تكون قابلة لنقل بيانات قناة TCH أو بيانات قناة DCCH أوتملأ برشقات جامدة dummy bursts . مع العلم أن كامل ثماني الخانات الزمنية في بقية القنوات الترددية في الخلية مهيأة لنقل بيانات TCH أو DCCH .

تعرّف قناة BCH بواسطة ثلاث قنوات متفرقة كلها تنقل على الخانة TS0 في أرتال مختلفة من الرتل المتعدد من فئة 51 وحدة .

وهذه الأنواع الثلاثة من قنوات BCH كالتالي:

- **قناة الإذاعة للتحكم** Broadcast Control Channel (BCCH)

وهي قناة تحكم للوصلة الهابطة تستعمل لإذاعة معلومات تخص تعريف الخلية والشبكة وخصائص عمل الخلية مثل هيكلة قناة التحكم الحالية و تهيئة القنوات و الازدحام داخل الخلية. كما تذيع قناة BCCH قائمة بالقنوات التي تكون في حالة استعمال داخل الخلية .

وتحتل بيانات قناة BCCH في رتل التحكم المتعدد من فئة 51 أربعة أرتال أي من رقم 4 إلى رقم5.

ملحوظة: الخانة الزمنية TS 0 تحمل بيانات قناة BCCH في أرتال معينة أما في غيرها من أرتال معينة أخرى يمكن أن تحمل قنوات BCH أخرى (مثل FCCH وSCH) أو قنوات التحكم المشتركة CCCHs أو رتلاً شاغراً I يرسل عند كل رتل رقم 51.

- **قناة تصحيح التردد** Frequency Correction Channel (FCCH)

وهي عبارة عن رشقة بيانات خاصة تحتل الخانة الزمنية TS 0 في أول رتل GSM أي الرتل رقم صفر وتعاد كل عشرة أرتال في رتل قناة التحكم المتعدد .

وقناة FCCH تمكن جهاز المشترك من توحيد تردده مع تردد المحطة القاعدية للخلية .

- **قناة التزامن** Synchronization Channel (SCH) و هي تحمل في الخانة TS 0 من الرتل الموالي رأسا لرتل FCCH ،وتستعمل لتعريف المحطة القاعدية مقدمة الخدمة مع تمكين المحطات المتنقلة من التزامن الرتلي مع المحطة القاعدية. فتحتوي بيانات رشقة SCH على رقم الرتل (FN) الذي يكون مداه من 0 إلى 2715647 وعلى رمز تعريف المحطة القاعدية (BSIC) الذي يحدد تلك المحطة بشكل فريد في نظام GSM .

ترسل قناة SCH مرة كل عشرة أرتال في رتل قناة التحكم المتعدد (من فئة 51).

٣- ٢- ٢- ٢ قنوات التحكم المشتركة Common Control Channels (CCCH)

تنقل هذه القنوات على تردد قنوات الإذاعة BCH في الخانة الأولى TS 0 من كل رتل GSM في حالة عدم حجزه من طرف BCH أو كونه رتلاً شاغراً.

تشمل قنوات CCCH ثلاثة أنواع من القنوات المختلفة و هي :أ- قناة النداء Paging Channel (PCH) التي تخص الوصلة الهابطة ب- قناة المسلك العشوائي Random Access Channel (RACH) التي تخص الوصلة الصاعدة ج- قناة ضمان المسلك Access Grant Channel(AGCH) التي تخص الوصلة الهابطة .

قنوات CCCH هي قنوات التحكم ذات الاستعمال الأكثر شيوعاً و تستعمل لنداء مشتركين محددين وتمد مشتركين محددين بقنوات التأشير وتستقبل طلبات الخدمة من المحطات المتنقلة .

ويمكن أن نعطي هذه القنوات المشتركة CCCH بتفصيل أكثر فيما يلي :

- **قناة النداء** Paging Channel (PCH)

وهي قناة توصل إشارات النداء من المحطة القاعدية إلى كل المحطات المتنقلة في الخلية وتنبه محطة متنقلة محددة لقدوم مكالمة من شبكة الهاتف الثابت فقناة PCH تنقل رمز تعريف المشترك المتنقل العالمي IMSI للمشترك المطلوب كما تنقل بالتوازي أيضاً طلباً للمحطة المتنقلة المطلوبة بإرجاع الإفادة بالقبول عن طريق قناة RACH .

كما يمكن أن تستعمل قناة PCH في الحالات البديلة للبث داخل الخلية لرسائل نصّية لجميع المشتركين و ذلك كجزء من خدمة الرسائل القصيرة المتاحة في نظام GSM .

قناة المسلك العشوائي Random Access Channel (RACH)

وهي قناة الوصلة الصاعدة التي تستعمل من طرف المحطة المتنقلة لنقل تعريفها على النداء الخاص بها الذي بثته قناة PCH .كما تستعمل أيضا من طرف المحطة المتنقلة لبدء محادثة .

وعلى كل محطة متنقلة أن تطلب مسلكاً للدخول للشبكة أو تجيب على تنبيه قناة PCH في الخانة TS 0 في رتل GSM ما . اذا كل الأرتال (حتى الرتل الشاغر) عند المحطة القاعدية تقبل إرسال RACH من طرف المتنقلة أثناء الخانة ذات الرقم صفر.

.و لإرساء الخدمة للمتنقلة فإن المحطة القاعدية يجب أن تجيب إرسال RACH برصد قناة حركة للمحطة المتنقلة وإلحاق في نفس الوقت ما يسمى بقناة تحكم مكرّسة قائمة لذاتها Stand-alone Dedicated Control Channel(SDCCH) وذلك لاستعمالها للتأشير أثناء المحادثة .

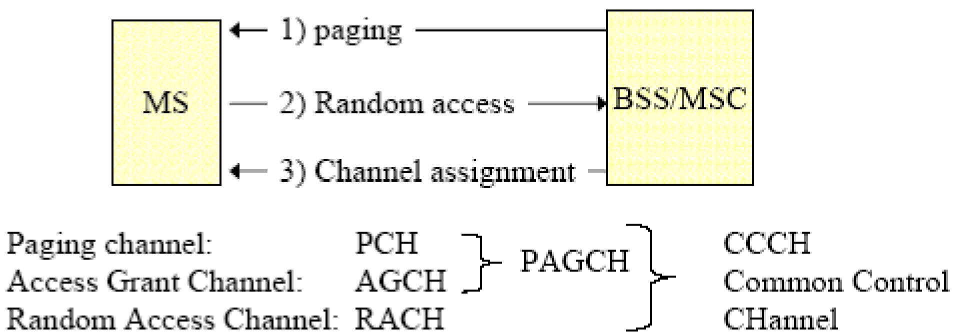
هذا الربط يؤكد من طرف المحطة القاعدية عن طريق قناة AGCH

- قناة ضمان المسلك Access Grant Channel(AGCH)

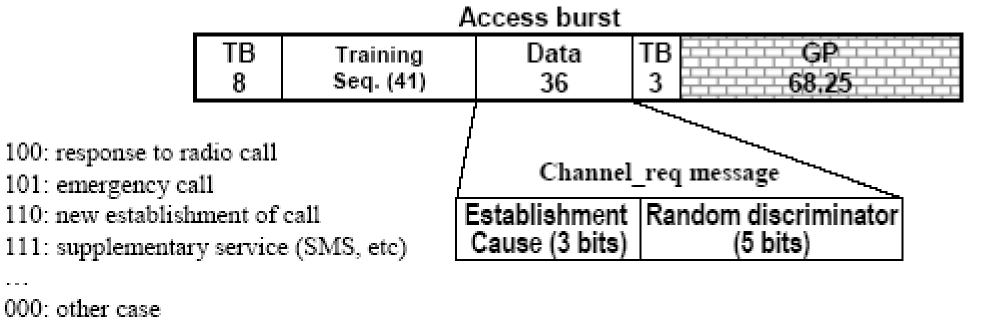
وهي تستعمل من طرف المحطة القاعدية لتهيئة الربط مع المحطة المتنقلة ،كما تحمل هذه القناة بيانات للمتنقلة للعمل على قناة فيزيائية معينة متحدة مع قناة تحكم مكرّسة .

AGCH هي آخر رسالة من نوع CCCH ترسلها المحطة القاعدية قبل أن ينتقل المشترك من قناة التحكم إلى قناة الحركة.

هذه القناة إذاً تستعملها المحطة القاعدية للإجابة علىRACH التي تكون أرسلتها المتنقلة في رتل CCCH سابق.



الشكل(٣- ٧أ) كيفية التخاطب بين المحطة القاعدية والمتنقلة عبر قناة CCCH



Random discriminator: (0…31) value randomly generated by MS

الشكل(٣- ٧ب) تفصيل قناة RACH

٣- ٢- ٢- ٣ قنوات التحكم المكرّسة Dedicated Control Channels (DCCH)

هناك ثلاثة أنواع من قنوات التحكم المكرّسة في نظام GSM وهي مثل قنوات الحركة من حيث كونها تستعمل في الاتجاهين الصاعد والنازل.وتكون لها نفس الهيكلة والوظيفة في الوصلتين أيضا.

و قنوات التحكم المكرّسة DCCHs يمكن أن تشغل أي خانة زمنية على أي قناة ترددية ما عدا الخانة ذات الرقم صفر على القناة الترددية الناقلة لقناة BCH .

ويمكن تقسيم قنوات التحكم المكرّسة إلى الأنواع التالية :

١. **قنوات تحكم مكرّسة قائمة بذاتها** Stand-alone Dedicated Control Channels(SDCCH)
وتستعمل لتزويد خدمات التأشير المطلوبة من طرف المشترك .

٢. **قنوات تحكم مصاحبة بطيئة** Slow Associated Control Channels(SACCH)
وتستعمل لنقل بيانات المراقبة بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية أثناء المحادثة.

٣. **قنوات تحكم مصاحبة سريعة** Fast Associated Control Channels(FACCH)
وتستعمل لنقل بيانات المراقبة بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية أثناء المحادثة أيضاً.

وسنعرض هذه الأنواع الثلاثة بتفصيل أكثر :

- **قنوات تحكم مكرّسة قائمة بذاتها** Stand-alone Dedicated Control Channels(SDCCH)
وهي قنوات تحمل بيانات التأشير مباشرة بعد الربط بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية مباشرة قبل أن تصدر المحطة القاعدية قناة حركة TCH خاصة للمحطة المتنقلة. فقناة SDCCH تضمن بقاء المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية مرتبطتين أثناء تحقق المحطة القاعدية ومركز المبدل MSC من وحدة المشترك ورصد الموارد للمتنقلة. فقناة SDCCH تستعمل عندها لنقل معلومات هوية وحدة

المشترك ورسائل التنبيه(وليس المحادثة) وذلك أثناء قيام المتنقلة بتثبيت تزامنها مع الرتل وانتظارها الحصول على قناة الحركة TCH.
وقنوات SDCCH يمكن أن تحدد لها قنوات فيزيائية خاصة بها أو يمكن أن تحتل الخانة صفراً من قناة BCH إذاكان الطلب على هذه القناة الأخيرة أوقناة CCCH قليلاً.

- **قنوات تحكم مصاحبة بطيئة** Slow Associated Control Channels(SACCH)

وهي قنوات تكون دائماً مصاحبة إما لقنوات الحركة أوقنوات SDCCH وتشكل على نفس القناة الفيزيائية . ولذلك فإن كل القنوات الترددية تحمل بيانات قناة SACCH لكل مستعمليها الحاليين.وهي تنقل معلومات عامة بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية.وفي الوصلة الهابطة تستعمل هذه القناة لإرسال المعلومات المتغيرة بانتظام و ببطء إلى المتنقلة ،مثل الأوامر المتعلقة بمستوى طاقة الإرسال وأوامر التقدم الزمني Time advance instructions المتعلقة بكل مستعمل على القناة الترددية. .أما في الوصلة الصاعدة فإن SDCCH تنقل معلومات حول قوة الإشارة المستقبلة وجودة قناة الحركة TCH وكذلك نتائج قياسات قنوات الإذاعة BCH للخلايا المجاورة .
تكون قناة SDCCH محمولة في الرتل الثالث عشر من كل رتل متعدد خاص بالمحادثة /قناة التحكم المكرّسة (انظر الشكل(٣- ٤)) .وفي ذلك الرتل تحجز بيانات SDCCH الخانة الثامنة من ثماني القنوات الفيزيائية ذات معدل التدفق الكامل.

- **قنوات تحكم مصاحبة سريعة** Fast Associated Control Channels(FACCH)

هذه القنوات تحمل الرسائل العاجلة وتحوي في الأساس نفس نوع المعلومات التي تحملها القناة البطيئة SDCCH وتتحدد قنوات FACCH عندما لايكون هناك تحديد سابق لقنوات SDCCH لمستعمل معين وتكون هناك معلومة ملحة كطلب الانتقال بين الخلايا.
وقناة FACCH تتسلل إلى الخانة الزمنية ب"سرقة"أرتال من قناة الحركة المصاحبة لها .وذلك بوضع بيتات (bits) خاصة في رشقة قناة الحركة TCH للوصلة الصاعدة .وإذا وضعت هذه البيتات فإن الخانة الزمنية تلك تسمى خانة بيانات قناة FACCH وليس TCH لذلك الرتل.

- لمحة مختصرة لجميع القنوات **Summary of the Different Logical Channels**

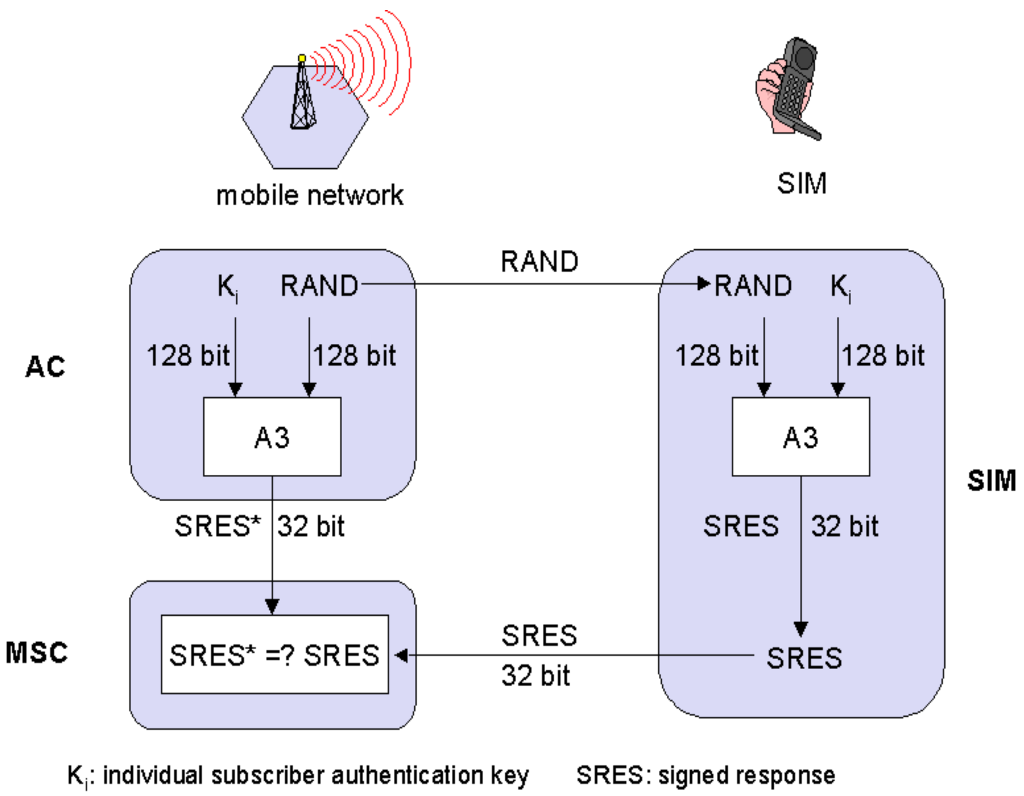
Transmitting Direction	Logical Channel
BTS ↔ MS	TCH
BTS ↔ MS	FACCH
BTS → MS	BCCH
BTS → MS	FCCH
BTS → MS	SCH
BTS ← MS	RACH
BTS → MS	PCH
BTS → MS	AGCH
BTS ↔ MS	SDCCH
BTS ↔ MS	SACCH

هذه صورة مجملة تبين اتجاه الإرسال الذي تستعمل فيه كل قناة منطقية ما بين المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة.

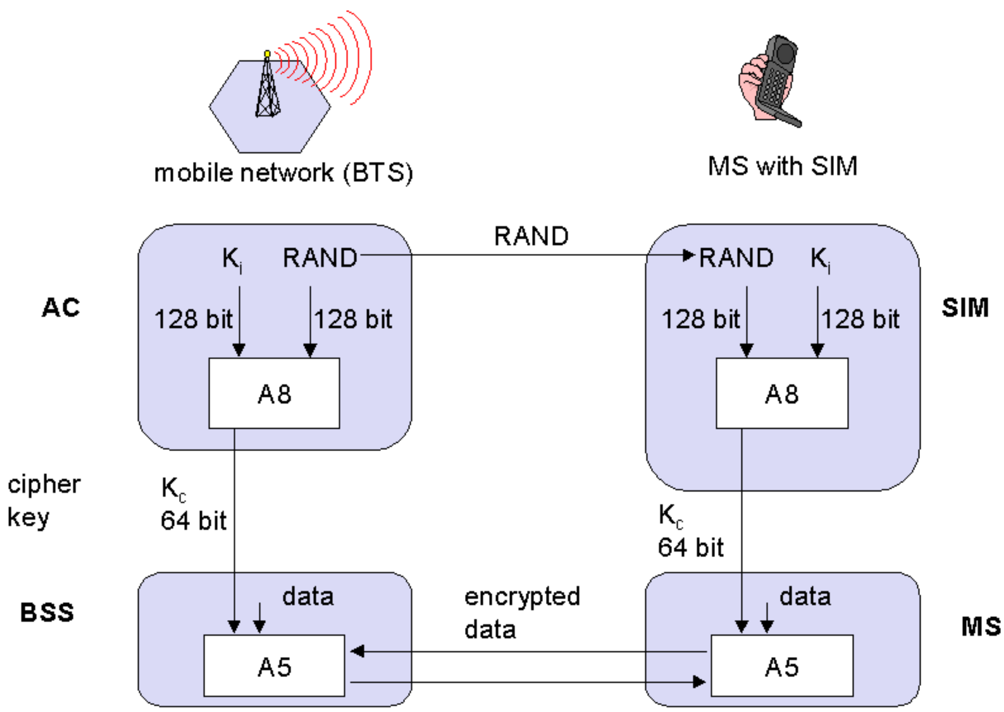
- قنوات التحكم للتوثيق و للتشفير **Control Channels for authentication and encryption**

أولاً الطرفية (المحطة المتنقلة) تجهز هوية المشترك ،التي هي رقم المشترك .
ثانياً تسأل الشبكة المشترك عن طريق قناة التحكم أن يبرهن عن هويته باستخدام خوارزمية مخزنة في ذاكرة قراءة فقط على الشريحة.حيث تخزن نسخة أيضاً عن هذه الخوارزمية في مركز التوثيق . وبهذه الطريقة فإن الخوارزمية السرية لا تنقل على الشبكة . ويوثق مركز التوثيق المشترك بمطابقة الرمز المقدم مع الرمزالصحيح لديه.

- التوثيق:

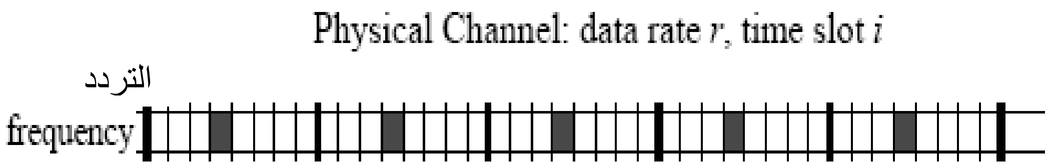


- التشفير:



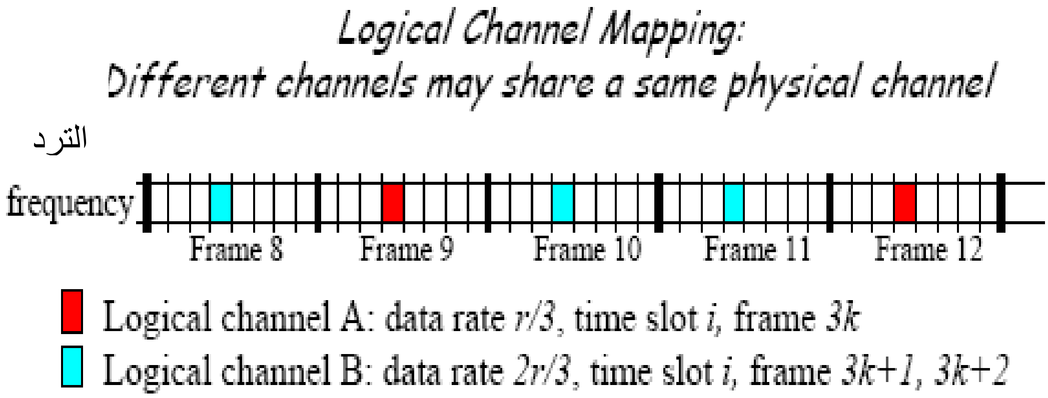
٣- ٣ رسم القنوات المنطقية على القنوات الفيزيائية Logical –physical Mapping

مثال قناة فيزيائية : معدل تدفق البيانات r والخانة الزمنية i



رسم (Maping) القناة المنطقية :

مشاركةعدة قنوات منطقية في قناة فيزيائية واحدة



٣- ٤ هيكلة الرشقات وأنواعها Burst structure and Types

يرسل كل مستعمل رشقة بيانات في الخانة الزمنية المحددة له.وهذه الرشقات لاتعدو أن تكون إحدى أنواع الرشقات الخمس حسب مواصفات نظام GSM .وهي رشقات الحركة والتحكم .

فالرشقات العادية burst normal تستعمل لقنوات DCCH, TCH في الوصلتين الصاعدة والهابطة. أما رشقات FCCH و SCH فتستعمل في خانات خاصة رقم صفر لإذاعة التردد والتزامن اللازم للمتنقلة أما رشقات RACH فتستعمل من طرق المتنقلة للحصول على الخدمة من المحطة القاعدية. أما الرشقة dummy فتستعمل للوصلات الهابطة لتعبئة الخانات غير المستعملة. الشكل(٣- ٨)التالي يبين كل هذه الرشقات و هيكلتها بالتفصيل.

Normal

3 start bits	58 bits of encrypted data	26 training bits	58 bits of encrypted data	3 stop bits	8.25 bits guard period

FCCH burst

3 start bits	142 fixed bits of all zeroes	3 stop bits	8.25 bits guard period

SCH burst

3 start bits	39 bits of encrypted data	64 bits of training	39 bits of encrypted data	3 stop bits	8.25 bits guard period

RACH burst

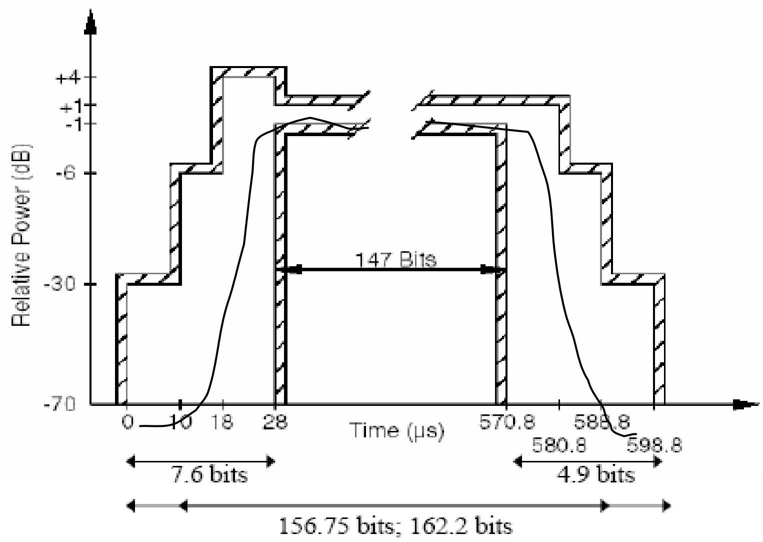
8 start bits	41 bits of synchronization	36 bits of encrypted data	3 stop bits	68.25 bit extended guard period

Dummy burst

3 start bits	58 mixed bits	26 training bits	58 mixed bits	3 stop bits	8.25 bits guard period

الشكل(٣- ٨) أنواع الرشقات وهيكلتها

وتكون قدرة الرشقة مركزة في بيتات وسط الرشقة أكثر مما هي في الأطراف أي أن الرشقة تكون ذات تصاعد وتنازل سريعين في مدة تصاعد مثلاً لا تتجاوز 20µs كما يبين الشكل التالي.



الشكل (٣- ٩) قناع الرشقة

وكما يبدو واضحاً من الشكل الذي يحدد المجال الذي تكون فيه قدرة الرشقة فإن القاعدة المتنقلة (جهاز الجوال)الذي يرسل الرشقة كل رتل أي كل 4.615ms يجب أن تصل الرشقة إلى قدرتها القصوى التي تدوم مدة 147 بت في زمن لا يتجاوز 20µs، وكذلك إنهاؤها بنفس السرعة.

٣-٥ متطلبات جودة الخدمة GSM QoS

جودة الخدمة	الزمن المتطلب
الزمن بين بداية التشغيل والجاهزية للخدمة	4s في الشبكة المحلية و 10s في شبكة أخرى
زمن التوصيل بالشبكة المطلوبة	4s
زمن الإخلاء من الشبكة الطلوبة	2s
زمن تنبيه الجوال بمكالمة قادمة	4s في المحاولة الأولى و15s في آخر محاولة
أطول فجوة زمنية مسموحة عند التجوال	150ms للتجوال بين الخلايا و 100ms وسط الخلية
أقصى زمن تأخير للكلام في اتجاه واحد	90ms
مفهومية الكلام	90%

Speech intelligibility	90%
Max one-way delay	90 ms
Max handoff gap	150 ms if intercell
Time to alert mobile of inbound cell	4 sec first attempt, 15 sec final attempt
Release time to called network	2 sec
Connect time to called network	4 sec

تدريبات على الوحدة الثالثة

١. كم عدد القنوات الترددية لكل من الوصلة الهابطة والصاعدة ؟
٢. كم عدد القنوات الكلية الوصلة الهابطة والصاعدة ؟
٣. حدد النوعان الرئيسيان للقنوات المنطقية
٤. عدد أنواع قنوات الإذاعة.
٥. اذكر أنواع فنوات التحكم المشتركة
٦. أي قنوات التحكم المشتركة الخاصة بالوصلة الهابطة؟
٧. أي قنوات التحكم المشتركة الخاصة بالوصلة الصاعدة؟
٨. قبل بدء المكالمة بين المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة (الجوال) أي قنوات التحكم تحمل بيانات المشترك وتأشير التنبيه؟
٩. عند الدخول في مجال خلية مجاورة ما القناة المنطقية التي تحمل طلب الانتقال؟
١٠. بين كيف تتم عملية التوثيق؟
١١. بين كيف تتم عملية التشفير؟
١٢. اشرح تركيبية الرشقة العادية
١٣. المكالمة ترسل على شكل رشقات مرة كل رتل. احسب التردد الذي تظهر فيه الرشقة أثناء المكالمة؟
١٤. اذكر أهم متطلبات جودة الخدمة في نظام **GSM**.
١٥. القنوات المنطقية في GSM قنوات:
   - O فقط للتحكم
   - O فقط للمكالمة
   - O فقط للتأشير
   - O لكل ذلك

المراجع

[1] Ericsson Training Manuals.

[2] William Lee, “Mobile Cellular Telecommunications”, McGraw Hill, 2001.

[3]J. Schiller, Addison, “Mobile Communication”, Wesley, 2000.

[4]John Scourias,' Overview of the global system for mobile communications.

[5] Theedere S. Rappaport: Wireless communications.

[6]Philips: GSM system introduction.

[7] Giuseppe Bianchi: GSM- radio interface.